



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktanzichen: 195 20 336.4  
22 Anmeldetag: 2. 6. 95  
43 Offenlegungstag: 5. 12. 96

DE 195 20 336 A 1

71 Anmelder:

BLZ Bayerisches Laserzentrum Gemeinnützige  
Forschungsgesellschaft mbH, 91058 Erlangen, DE

74 Vertreter:

Patentanwälte Rau, Schneck & Hübner, 90402  
Nürnberg

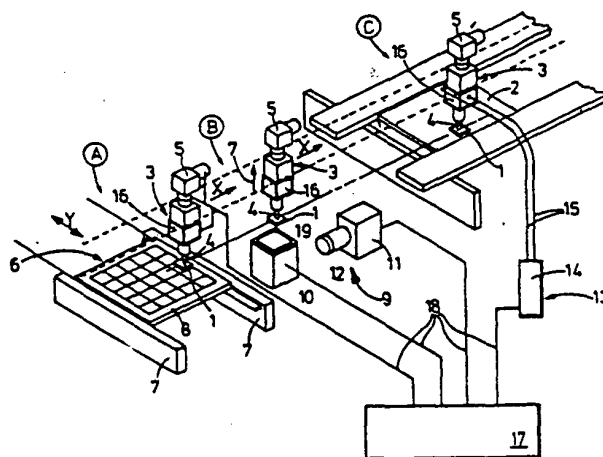
72 Erfinder:

Pucher, Hans-Jörg, Dipl.-Ing., 91056 Erlangen, DE;  
Glasmacher, Mathias, Dipl.-Phys., 91054 Erlangen,  
DE; Geiger, Manfred, Prof. Dr.-Ing.(h.c.), 91341  
Röttenbach, DE

54 Laser-Lötvorrichtung zum qualitätskontrollierten Auflöten von elektronischen Bauelementen auf einen Schaltungsträger und Verfahren zur Qualitätsüberwachung solcher Lötprozesse

57 Eine Laser-Lötvorrichtung zum qualitätskontrollierten Auflöten von elektronischen Bauelementen (1) mit einer Vielzahl von Anschlußbeinen (20) auf einen Schaltungsträger (2) ist versehen mit

- einer Manipulationseinrichtung (3), zur Aufnahme des Bauelements (1) aus einem Magazin (6) und zu dessen Handhabung während des Kontroll-, Bestückungs- und Füge- bzw. Lötvorganges,
- einer Geometrie-Erfassungseinrichtung (9) zur Ermittlung der Lage und Ausdehnung der Anschlußbeine (20) des Bauelementes (1), zur Kontrolle deren Koplanarität und/oder zur Bestimmung der optimalen Bestückungskraft für das Bauelement (1),
- einer Laser-Bestrahlungseinrichtung (13) zur Erzeugung eines oder mehrerer Laserstrahlen für einen Simultan-Füge- bzw. -Lötvorgang,
- einer Ultraschall-Anregungseinrichtung (48) in der Manipulationseinrichtung (3) zur Ultraschall-Anregung des Bauelementes (1) und
- einer Schwingungs-Detektionseinrichtung (62, 63) zur Detektion der durch die Ultraschall-Anregung des Bauelementes (1) an dessen Anschlußbeinen (20) erzeugten mechanischen Schwingungen, die für die Qualität der Füge- bzw. Lötverbindung repräsentativ sind.



DE 195 20 336 A 1

Die Erfindung betrifft eine Laser-Lötvorrichtung zum qualitätskontrollierten Auflöten von elektronischen Bauelementen mit einer Vielzahl von Anschlußbeinen, insbesondere von Fine-Pitch-Bauelementen mit Rastermaßen unter etwa 0,65 mm, auf einen Schaltungsträger sowie ein Verfahren zur Qualitätsüberwachung solcher Lötprozesse.

Der herrschende Trend zur fortschreitenden Miniaturisierung im gesamten Elektronikbereich hat in den letzten Jahren zur einer starken Verkleinerung der Bauelemente bei gleichzeitiger Erhöhung deren Funktionalität geführt. Dies bedingt eine immer größer werdende Anzahl von Anschlußbeinen an einem Bauelement, deren Raumbedarf wesentlich die erreichbare Packungsdichte einer elektronischen Schaltung beeinflusst. Trotz existierender, der Miniaturisierung entgegenkommender, alternativer Packungsformen, wie z. B. das sogenannte "Ball-Grid-Array" (BGA) spielt dabei das sogenannte "Quad Flat Package" (QFP) mit quaderförmigem Bauelementkörper und an seinen vier Seiten aneinandergereihten Anschlußbeinen weiterhin eine dominierende Rolle. Hierbei sollen Rastermaße bis herunter zu 0,2 mm erreicht werden.

Zunehmendes Interesse besteht zur Zeit auch an der Entwicklung von Fertigungstechnologien für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger — sogenannte "3-D MID's" — wie sie schon im Kraftfahrzeugbereich oder in der Telekommunikation eingesetzt werden.

Für die obenerwähnten engen Rastermaße und die 3D-Anwendungen ist die derzeit bekannte Montagetechnologie noch nicht ausgereift. Defizite bestehen vor allem in den Verfahrensschritten Lötdeponierung, Bestücken, Fixieren und Fügen. Die Problemstellung des Fügens kann dabei durch Einsatz der Lasertechnik aufgrund ihrer intrinsischen Eigenschaften Kräftefreiheit, optische Zugänglichkeit und lokale, wohldosierte Wärmezufuhr gelöst werden. Besonders vorteilhaft ist dabei die Verfahrenskombination Bestücken und Laserstrahl-löten in einem Modul, das leicht in bestehende Bestückungsautomaten integriert werden kann. Einschränkend hierbei ist, daß die bisherigen Laserstrahl-Lötsysteme hinsichtlich ihrer Produktivität und Flexibilität verbesserungsbedürftig sind.

Grundsätzlich ist die Qualität und damit die Zuverlässigkeit von sogenannten "Surface Mount"-(SM-)Lötverbindungen bei der erwähnten Prozeßfolge von Bestücken und anschließendem Laserstrahl-löten durch primäre und sekundäre Faktoren bestimmt.

Unter primär qualitätsbeeinflussenden Faktoren sind die maschinenabhängigen Kenngrößen, wie z. B. die Positionier- und Wiederholgenauigkeit, die Maschinen- und Prozeßparameter, wie z. B. Positioniergeschwindigkeit, Anfahrbeschleunigung, Bestück- bzw. Niederhalterkraft beim Fügen, Laserstrahlparameter etc., das Layout und die Dimensionsstabilität des Schaltungsträgers, das Rastermaß der Bauelemente sowie die Vorbelotung, die Lötbarkeit, die Maßhaltigkeit und die thermophysikalischen Eigenschaften des Schaltungsträgers und der Bauelemente zu verstehen. Die sekundären Faktoren sind überwiegend durch den Menschen sowie durch Umwelteinflüsse, wie z. B. Lagerhaltung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit etc. bestimmt und beeinflussen die erreichbare Qualität der Lötverbindung zusätzlich.

Gerade die Bearbeitung räumlicher Schaltungsträger (3-D MID) stellt nun besonders hohe Anforderungen an die Kinematik zur Manipulation des Schaltungsträgers

und/oder an das Bestücksystem. Ein wesentliches Problem besteht dabei in der hochgenauen Positionierung und Fixierung des Bauelementes auf dem räumlichen Schaltungsträger vor dem Fügeprozeß. Das Lotdepot kann bei der Verarbeitung dieser 3-D MIDs, nach dem derzeitigen Stand der Technik, entweder galvanisch oder mit Hilfe eines Dispensers aufgebracht werden. Der Einsatz von galvanischen Lotdepots verlangt aber eine Fixierung des Bauelementes entweder vor dem Fügeprozeß mit schnell aushärtendem Kleber oder während des Fügeprozesses durch einen mechanischen Niederhalter. Das Dispensieren hat den Vorteil, daß das Bauelement aufgrund der Klebefähigkeit der Lötpaste für den Fügeprozeß bis zu einer gewissen Neigung der Prozeßfläche fixiert ist. Bei Rastermaßen  $\leq 0,65$  mm stößt das Dispensieren aufgrund rheologischer Phänomene an seine Grenzen. Insofern ist die bisherige Strategie bei der räumlichen Montage bestehend aus Bestücken nach dem Pick-and-Place-System und dem nachfolgenden Reflow-Löten mit Hilfe von Strahlungs-, Konvektions-, Kondensations- oder Kombinationsöfen in einer separaten Anlage bei Rastermaßen  $\leq 0,65$  mm problematisch.

In löttechnischer Hinsicht bietet hier nun das Laserstrahl-löten insbesondere zur Kontaktierung von Fine-Pitch-Bauelementen z. B. auf räumlichen Schaltungsträgern gegenüber herkömmlichen Techniken, wie z. B. Bügellöten, erhebliche Vorteile. Diese beruhen auf der lokalen und präzise steuerbaren Wärmezufuhr oder der einfachen Anpaßbarkeit an unterschiedliche Bauelementformen durch eine gezielte räumliche Steuerung der Laserlötvorrichtung.

Die Kontaktierung eines kompletten Bauelementes kann je nach eingesetztem optischen Strahlführungs- und -formungssystem der Laserstrahlung nach verschiedenen Strategien erfolgen. So können beispielsweise die einzelnen Anschlüsse sequentiell durch einen bewegten, nahezu punktförmigen Laserstrahlfokus gelötet werden. Dies ermöglicht eine vereinfachte Adaption einer Prozeßregelung an das jeweilige Bauelement. Nachteilig sind dabei allerdings die vergleichsweise geringe Bearbeitungsgeschwindigkeit und das mögliche Verrutschen des Bauelementes beim asymmetrischen Aufschmelzen von Lot, falls kein Niederhalter oder fixierender Kleber verwendet wird.

Der vorstehenden Problematik wurde bereits durch Lötsysteme entgegengetreten, in denen mehrere Teilstrahlen die parallele Bearbeitung mehrerer Anschlußreihen an den Bauelementseiten erlauben, wie dies in der DE 35 39 933 C2 angegeben ist. Die Relativbewegung des Laserstrahls gegenüber den zu verlötenden Anschlußelementen wird dabei durch Galvanometerspiegel bewirkt, was z. B. aus dem Fachaufsatz von van Veen "Bauelemente mit dem Laser löten" in der Fachzeitschrift "Leiterplattentechnik", Nov. 1992, S. 166 bis 169 beschrieben ist. Je nach erforderlicher Positioniergenauigkeit und Verfahrensgeschwindigkeit des Laserstrahls kann auch mit mechanisch geführten Lichtleitfasern gearbeitet werden, was aus der DE 39 39 812 bekannt ist.

Im Stand der Technik wurde auch bereits beschrieben, eine komplette Anschlußreihe simultan zu bearbeiten, indem beispielsweise ein einzelner Laserstrahl mehrfach mit hoher Bahngeschwindigkeit mittels Galvanometerspiegel an einer Bauelementseite entlangbewegt wird oder indem durch eine Zylinderoptik ein Linienfokus auf den Anschlüssen erzeugt wird (siehe Fachaufsatz von Suinaga et al "Laser Soldering" in der

Fachzeitschrift "Welding International", 1988, No. 3, Seiten 269 bis 276). Dieses Simultanlöten setzt voraus, daß die Bearbeitungsintensität der Laserstrahlung so gewählt werden kann, daß ein Lötvorgang möglich ist, ohne die Substratbereiche zwischen den Anschlußflächen des Schaltungsträgers zu beschädigen.

Zum Stand der Technik ist weiterhin auszuführen, daß ein Laserstrahl mit zusätzlicher Ultraschallanregung eines oder aller Fügepartner — also der Bauelemente mit ihren Anschlußbeinen bzw. des Schaltungsträgers — bekannt ist. Damit kann die Benetzung der Anschlußflächen mit Lot während des Aufschmelzprozesses gesteigert werden (siehe Fachaufsatz von Hammond "Laser Ultrasonic Tape Automated Bonding" in der Fachzeitschrift "Surface Mount Technology", Sept. 1990, Seite 25 bis 31). Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich durch Ultraschalleinwirkung zum einen Oxidschichten und Verunreinigungen auf den Fügeflächen aufgrund von Kavitation ablösen und somit die Grenzflächenspannung zwischen Lot und Lötatmosphäre verringert wird. Außerdem wird das Fließen des aufgeschmolzenen Lotes erleichtert, da einerseits über die Temperaturerhöhung in den Randschichten durch Ultraschallabsorption eine Viskositätsverringerung auftritt und andererseits durch die periodischen Auslenkungen der Lotoberfläche eine größere Benetzungsbzw. Wechselwirkungsfläche erzeugt wird. Infolgedessen kommt es zu einer verbesserten Benetzung und zu einer optimierten Ausbildung der Lotmenisken insbesondere im Fersenbereich der Bauelement-Anschlüsse. Prozeßbegleitend wird das Löten unter Schutzgas empfohlen, um Oxidationsprozesse auf den erwärmten Oberflächen zu verhindern. Für eine Verbesserung der Benetzungsfähigkeit des Lotes ist im übrigen eine bestimmte Minimal-Energiedichte des Ultraschalls erforderlich. Zur Erhöhung der Effektivität sollte die Ultraschall-Einkopplung möglichst nahe an der Fugestelle erfolgen. Die unmittelbare Einleitung des Schalls über den Bauelement-Niederhalter ist in diesem Zusammenhang besonders effektiv.

Weiterhin ist es grundsätzlich bekannt, akustische Wellen in verschiedenster Weise auch zur Qualitätssicherung bei Lötprozessen einzusetzen. So lassen sich akustische Emissionen während des Lötprozesses vom Schaltungsträger oder am Bauelement-Niederhalter als Schallsignal abnehmen, was aus der DE 42 34 121 C2 bzw. aus dem Fachaufsatz von van Gastel "ALERT: Advanced Laser Reflow Soldering for surface Mount Technology" in "VDI-Berichte" Nr. 1133, 1994 bekannt ist. Die erwähnten Schallsignale geben Aufschluß über das Aufschmelzverhalten der Werkstoffe an der Lötstelle.

Weiterhin ermöglichen verschiedene meßtechnische Verfahren eine sequentielle Qualitätsüberprüfung der Anschlüsse nach dem Lötprozeß. Dabei erwärmen Laserpulse mit niedriger Leistungsdichte die Oberflächen der Fügepartner an den Lötstellen kurzzeitig bis maximal auf Temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur. Hierdurch werden akustische Wellen erzeugt, die am Bauelement-Niederhalter oder auf dem Schaltungsträger mit um so größerer Amplitude detektierbar sind, je besser die Fugestelle geometrisch ausgebildet ist. Unzureichende Menisken, Risse oder Einschlüsse in der Lötstelle können mit diesen Verfahren erkannt werden.

Problematisch bei dem vorstehend erörterten akustischen Verfahren ist, daß diese für die Qualitätsüberprüfung von Lötverbindungen an Anschlußbeinen insbesondere von Fine-Pitch-Bauelementen mit sehr kleinem

Rastermaß etwa  $< 0,65$  bis herunter zu 0,2 mm unter Umständen keine genügende örtliche Auflösung aufweisen, um selektiv die einzelnen Lötverbindungen in ihrer Qualität zu überprüfen. Nachteilig bei diesem Verfahren ist auch der Umstand, daß das Meßsystem bei jeder Layoutänderung neu kalibriert werden muß und die Qualitätsprüfung sequentiell nach dem Fügeprozeß erfolgt. Darüber hinaus hat sich dieser Stand der Technik zwar mit einzelnen Aspekten beim Auflöten von vielpoligen Bauelementen mittels Lasertechnik beschäftigt, ein umfassendes Konzept zur rationalen Kontaktierung solcher Bauelemente mit der Methode des Simultanlötens in Verbindung mit einer Inline-Qualitätskontrolle aller Lötverbindungen wurde bisher jedoch noch nicht realisiert.

Insofern liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Laser-Lötvorrichtung anzugeben, mit der eine rationelle Kontaktierung vielpoliger Bauelemente mit kleinem Rastermaß unter zerstörungsfreier, lötprozeßbegleitender Qualitätskontrolle der erzeugten Lötverbindungen möglich ist. In verfahrenstechnischer Hinsicht soll ein in dieser Laser-Lötvorrichtung einsetzbares Verfahren zur Qualitätsüberwachung von laser-induzierten Lötprozessen zwischen Anschlußelementen solcher vielpoliger elektronischer Bauelemente und einem Schaltungsträger angegeben werden.

In vorrichtungstechnischer Hinsicht ist die Lösung der vorstehenden Aufgabe durch eine Laser-Lötvorrichtung gemäß den Merkmalen des Anspruches 1 gegeben. Daraus ergibt sich das erfindungsgemäße Konzept, wonach in die Laser-Lötvorrichtung als wesentliche Komponenten eine Manipulationseinrichtung zur Aufnahme des Bauelements aus einem Magazin und zu dessen Handhabung während des Kontroll-, Bestückungs- und Füge- bzw. Lötvorganges, eine Geometrie-Erfassungseinrichtung zur Ermittlung der Lage und Ausdehnung der Anschlußbeine des Bauelements, zur Kontrolle der Koplanarität der Anschlußbeine und/oder zur Bestimmung der optimalen Bestückungskraft für das Bauelement, eine Laser-Bestrahlungseinrichtung zur Erzeugung eines oder mehrerer für einen Simultan-Füge- bzw. -Lötvorgang verwendeter Laserstrahlen, eine Ultraschall-Anregungseinrichtung in der Manipulationseinrichtung zur Ultraschall-Anregung des Bauelementes während des Füge- bzw. Lötvorganges und/oder danach sowie eine Schwingungs-Detektionseinrichtung zur Detektion der durch die Ultraschall-Anregung des Bauelementes erzeugten mechanischen Schwingungen der Anschlußbeine integriert sind, wobei die Schwingungen für die Qualität der Füge- bzw. Lötverbindung repräsentativ sind.

Durch die Zusammenfassung dieser Komponenten in der erfindungsgemäßen Laser-Lötvorrichtung wird eine für die Kontaktierung von vielpoligen Bauelementen vorteilhafte Prozeßabfolge ermöglicht, die durch folgende Schritte charakterisiert ist:

- Bestimmung der Lage-Koordinaten jedes einzelnen Anschlußbeines des elektronischen Bauelementes
- Bestimmung des räumlichen Koplanaritätszustandes der Anschlußbeine relativ zueinander
- Ermittlung der optimalen Bestück- und Niederhalterkraft in Abhängigkeit davon
- simultanes Laser-Reflex-Löten
- Verbesserung der Lotbenetzung der Fügepartner durch Ultraschall-Anregung
- prozeßintegrierte Qualitätssicherung während

des Füge- und Lötprozesses und/oder danach unter Verwendung von Schallanregung.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Laser-Lötvorrichtung und der damit ermöglichten, vorstehend charakterisierten Prozeßabfolge kann ein 3D-fähiges Kontaktierungsverfahren hoher Produktivität und mit dokumentierbarer Qualität der Füge- bzw. Lötverbindungen der einzelnen Anschlußbeine realisiert werden.

Es ist zu ergänzen, daß das Löten im klassischen Sinne nur ein mögliches Fügeverfahren ist, das mit der erfindungsgemäßen Laser-Lötvorrichtung durchführbar ist. Daneben ist beispielsweise eine durch Laserstrahlung induzierte, schnelle Aushärtung von leitfähigen Kunststoffen eine ebenfalls realisierbare Fügetechnik zum Kontaktieren von elektronischen Bauelementen mit Hilfe der erfindungsgemäßen Laser-Lötvorrichtung.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Geometrie-Erfassungseinrichtung sind in den Ansprüchen 2 bis 7 angegeben. Diese sind teilweise von eigenständiger erfinderischer Bedeutung. Insofern können solche vorteilhaft ausgestaltete Geometrie-Erfassungseinrichtungen auch unabhängig von den weiteren Komponenten der erfindungsgemäßen Laser-Lötvorrichtung eingesetzt werden. Weitere Einzelheiten zu der Ausgestaltung der Geometrie-Erfassungseinrichtung sind der Beschreibung der entsprechenden Ausführungsbeispiele dazu entnehmbar.

Die Ansprüche 8 und 9 charakterisieren bevorzugte Weiterbildungen der Manipulationseinrichtung. Durch die angegebene Ausgestaltung ist es möglich, sowohl die Aufsetzkraft der Bauelement-Anschlußbeine auf eine Unterlage zu bestimmen als auch die Ultraschall-Anregung des Bauelementes zu erzeugen. Im übrigen ist bei der als Vakuumpipette ausgebildeten Manipulationseinrichtung gemäß Anspruch 19 ein in einer Kugelenkanordnung gelagertes Kontaktstück vorgesehen, mit dem Orthogonalitätsabweichungen zwischen dem Bauelement und dem Schaltungsträger beim Bestücken auszugleichen sind.

Die nach Anspruch 20 vorgesehenen Prozeßgaskanäle in der Manipulationseinrichtung dienen zur Zuführung von Schutzgas auf konstruktiv einfache Weise, um eine Oxidation der beloteten Fügeflächen zu unterbinden oder zumindest zu reduzieren, wie dies als solches bereits als Stand der Technik bekannt ist.

Die Ansprüche 10 bis 18 kennzeichnen vorteilhafte Ausbildungen der verbleibenden Komponenten der erfindungsgemäßen Laser-Lötvorrichtung und die gegenseitige Integration dieser Komponenten. Nähere Einzelheiten hierzu sind wiederum der Beschreibung der entsprechenden Ausführungsbeispiele entnehmbar.

Anspruch 21 betrifft ein Verfahren zur Qualitätsüberwachung von Laserinduzierten Füge- bzw. Lötprozessen zwischen Anschlußelementen vielpoliger elektronischer Bauelemente und einem Schaltungsträger, das in vorteilhafter Weise in der erfindungsgemäßen Laser-Lötvorrichtung realisiert werden kann. Wesentlich dabei ist die Kombination einer Ultraschall-Anregung des Bauelementes während des oder nach dem Laser-Füge- bzw. -Lötprozeß mit einer optischen Erfassung der durch die Ultraschall-Anregung hervorgerufenen Schwingungen der Anschlüsse des elektronischen Bauelementes. Durch diese optische Erfassung der akustisch angeregten Schwingungen der Anschlüsse des Bauelementes wird eine selektive Qualitätskontrolle einzelner, sehr eng stehender Anschlüsse gerade von Bauelemen-

ten mit sehr kleinem Rastermaß möglich.

In verfahrenstechnischer Hinsicht besonders vorteilhaft ist es, wenn gemäß Anspruch 22 die Anschlüsse des zu fügenden bzw. zu verlötenden Bauelementes in einem von den Füge- bzw. Lötflächen beabstandeten Bereich, also insbesondere im Schulterbereich der Anschlußbeine von Fine-Pitch-Bauelementen, beleuchtet werden. Diese Stellen sind für das optische System besonders gut zugänglich und weisen zudem ein für die Qualität der Füge- bzw. Lötverbindung sehr charakteristisches Schwingungsverhalten aufgrund der Ultraschall-Anregung des Bauelementes auf. Als charakteristische Größen des detektierten Meßsignals können dabei dessen Amplitude, Frequenz, und/oder Phase erfaßt werden (Anspruch 23).

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung sind der nachfolgenden Beschreibung entnehmbar, in der Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Laser-Lötvorrichtung und des darin zum Einsatz kommenden Qualitätsüberwachungsverfahrens anhand der beigefügten Figuren näher erläutert werden:

Fig. 1 eine schematische Perspektivdarstellung einer Laser-Lötvorrichtung,

Fig. 2 eine teilweise schematisierte Perspektivdarstellung der Geometrie-Erfassungseinrichtung der Laser-Lötvorrichtung gemäß Fig. 1,

Fig. 3 Seitenansichten des Details III nach Fig. 2 in unterschiedlichen Aufsetzpositionen eines Anschlußbeines,

Fig. 4, 6, 8, 10 und 12 Seitenansichten unterschiedlicher Ausführungsformen der Geometrie-Erfassungseinrichtung,

Fig. 5, 7, 9, 11 und 13 Draufsichten auf die Lichtquellen der Geometrie-Erfassungseinrichtungen gemäß den Fig. 4, 6, 8, 10 und 12,

Fig. 14 eine Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform einer Geometrie-Erfassungseinrichtung,

Fig. 15 eine ausschnittsweise, schematische Perspektivdarstellung der Laser-Lötvorrichtung mit zu kontaktierendem Bauelement im Anfahrzustand relativ zu einem Schaltungsträger,

Fig. 16 eine Seitenansicht der Manipulationseinrichtung der Laser-Lötvorrichtung mit integrierter Laser-Bestrahlungs- und Schwingungs-Detektionseinrichtung,

Fig. 17 eine teilweise geschnittene Detail-Seitenansicht des Mundstückes der Vakuumpipette der Manipulationseinrichtung,

Fig. 18 einen Horizontalschnitt durch die Vakuumpipette entlang der Schnittlinie XVIII-XVIII nach Fig. 17,

Fig. 19 einen ausschnittweisen Vertikalschnitt durch eine Strahlführungs- und -formungseinheit der Laser-Bestrahlungseinrichtung,

Fig. 20 einen Vertikalschnitt durch die Strahlführungs- und -formungseinheit entlang der Schnittlinie XX-XX nach Fig. 19 mit integrierter Schwingungs-Detektionseinrichtung,

Fig. 21 und 22 Draufsichten auf unterschiedliche Anordnungsformen von Strahlführungs- und -formungseinheiten mit integrierten Schwingungs-Detektionseinrichtungen aus Pfeilrichtung XXI gem. Fig. 16.

Fig. 1 zeigt einen Überblick über die Grundstruktur einer Laser-Lötvorrichtung gemäß der Erfindung, die zum qualitätskontrollierten Fügen bzw. Löten von elektronischen Bauelementen mit einer Vielzahl von Anschlußbeinen, wie z. B. einem Fine-Pitch-Bauelement 1 mit Rastermaßen R (Fig. 15 bzw. 18) unter 0,65 mm — also beispielsweise 0,25 mm — auf einen planaren Schaltungsträger 2 dient. Statt auf den planaren Schaltungs-

träger 2 kann durch die Laser-Lötvorrichtung auch ein Fügen bzw. Löten auf räumlich geformte Schaltungsträger stattfinden.

Ein Kernstück der Laser-Lötvorrichtung ist eine Manipulationseinrichtung 3, wie sie von ihrer grundsätzlichen Bauweise her aus üblichen Pick-and-Place-Systemen bekannt ist. Diese weist eine Vakuumpipette 4 auf, mittels der durch Unterdruck das Bauelement 1 angesaugt und gehalten wird. Die Manipulationseinrichtung 3 selbst ist über nicht näher dargestellte Führungen und Antriebe in der Horizontalebene in X- bzw. Y-Richtung verschiebbar. Zudem ist die Vakuumpipette 4 mit ihren noch näher zu erläuternden Anbauten an einem Kopf 5 der Manipulationseinrichtung 3 kardanisch gelagert, so wie in der vertikalen Z-Richtung verschiebbar und um ihre Längsachse drehbar.

Die Manipulationseinrichtung 3 dient zur Aufnahme des Bauelementes 1 aus einem Magazin 6, bei dem es sich beispielsweise um ein auf Führungsschienen 7 verschiebbares Tablett 8 handeln kann.

Weiterhin weist die in Fig. 1 gezeigte Laser-Lötvorrichtung eine als ganzes mit 9 bezeichnete Geometrie-Erfassungseinrichtung auf, die zur Ermittlung der Lage und Ausdehnung der Anschlußbeine des Bauelementes 1, zur Kontrolle deren Koplanarität und zur Bestimmung der optimalen Bestückungskraft für das Bauelement dient. Wesentliche Bauteile der Geometrie-Erfassungseinrichtung sind eine Beleuchtungseinrichtung 10, deren Ausgestaltung noch näher beschrieben wird, und eine CCD-Kamera 11 mit Objektiv 12.

Als weitere Station weist die gezeigte Laser-Lötvorrichtung eine als ganzes mit 13 bezeichnete Laser-Bestrahlungseinrichtung auf, die aus den separat ansteuerbaren Laserquellen 14, einem Bündel von Lichtleitfasern 15 und an der Vakuumpipette 4 angeordneten, in Fig. 1 durch einen Gehäusekasten 16 schematisch angedeuteten Strahlführungs- und -formungseinheiten besteht. Durch die von den Laserquellen 14 über die Lichtleitfasern 15 zu den noch näher zu erläuternden Strahlführungs- und -formungseinheiten zugeführte Laserstrahlung werden die für einen Simultan-Füge- bzw. -Lötvorgang verwendeten Laserstrahlen erzeugt.

Weiterhin ist in die Vakuumpipette 4 eine Ultraschall-Anregungseinrichtung für das Bauelement 1 während des Füge- bzw. Lötvorganges bzw. danach integriert.

Weiterhin ist eine noch näher zu erläuternde optische Schwingungs-Detektionseinrichtung im Gehäusekasten 16 vorgesehen, die die durch die Ultraschallanregung des Bauelementes 1 erzeugten mechanischen Schwingungen der Anschlußbeine detektiert.

Die gesamte Laser-Lötvorrichtung wird über eine Steuer- und Auswerteeinrichtung 17 gesteuert, bei der es sich beispielsweise um einen Personalcomputer handeln kann. Diese Steuer- und Auswerteeinrichtung 17 steht über Steuer- und Signalleitungen 18 mit den einzelnen Komponenten der Laser-Lötvorrichtung in Verbindung. Von diesen Leitungen 18 ist aus Gründen der Übersichtlichkeit in Fig. 1 nur ein kleinerer Teil gezeigt.

Aus Fig. 2 wird der grundsätzliche Aufbau der Geometrie-Erfassungseinrichtung 9 deutlich. Deren Beleuchtungseinrichtung 10 weist eine gläserne, lichtdurchlässige Aufsetzplatte 19 in optischer Qualität zum Aufsetzen des Bauelementes 1 mit seinen Anschlußbeinen 20 mittels der Vakuumpipette 4 sowie eine darunter angeordnete Lichtquelle 21 zur Beleuchtung der Anschlußbeine 20 auf. Die Lichtquelle 21 ist auf der dem Bauelement 1 abgewandten Seite der Aufsetzplatte 19 angeordnet. Zwischen letzterer und der Lichtquelle 21

ist ein teildurchlässiger Umlenkspiegel 22 in einem Winkel von  $45^\circ$  zur Senkrechten angeordnet, der das von den Anschlußbeinen 20 beim Beleuchten reflektierte Streulicht 23 in Richtung der CCD-Kamera 11 ablenkt.

5 Deren Bildsignale werden in einer in die Steuer- und Auswerteeinrichtung 17 integrierten Bildverarbeitungseinrichtung zur Ermittlung der Koordinaten und Koplanarität der Anschlußbeine 20 verarbeitet. Dabei werden vor und während des für den kompletten Meßvorgang notwendigen Aufsetzens des Bauelementes 1 auf die Aufsetzplatte 19 die Projektionen der Anschlußbeine 20 auf die CCD-Ebene erfaßt, so daß über Segmentierungsalgorithmen die genauen Anschlußkoordinaten sowie eventuelle Verdrehungen der Anschlüsse be-  
10 stimmt werden können. Durch bestimmte, noch näher zu beschreibende Beleuchtungsvarianten ist es zusätzlich möglich, die räumliche Fußgeometrie aus den Grauwertverteilungen innerhalb der segmentierten Anschlußbereiche zu rekonstruieren und daraus optimale Aufsetzparameter abzuleiten.

In Fig. 3 ist im Detail ein Anschlußbein 20 und das Verhalten des Streulichtes in Abhängigkeit des Aufsetzens des Anschlußbeines 20 auf die Aufsetzplatte 19 gezeigt. Daraus ist erkennbar, daß bei einer Schrägstellung der Lötfläche 24 am Ende des Anschlußbeines 20 das Streulicht 23 in einem spitzen Winkel zum einfallenden Licht reflektiert wird. Bei einem zunehmenden Niederfahren des Bauelementes 1 wird das Streulicht 23 mit immer kleiner werdenden Winkel reflektiert, bis es bei einer planen Auflage der Lötfläche 24 auf der Aufsetzplatte 19 parallel zum einfallenden Licht 25 reflektiert wird. Dieses Reflektionsverhalten kann von der CCD-Kamera 11 detektiert und daraus selektiv für jedes Anschlußbein 20 auf die Lage der Lötfläche 24 im Raum  
30 geschlossen werden.

Im übrigen können in Abhängigkeit von der Bauelement-Gehäusegröße und dem notwendigen Abbildungsmaßstab bei gegebenem Arbeitsabstand zur Minimierung des Parallaxenfehlers vier CCD-Kameras und/oder telezentrische Optiken eingesetzt werden.

Anhand der Fig. 4 bis 14 werden sechs unterschiedliche Varianten für die Lichtquellen 21 der Geometrie-Erfassungseinrichtung 9 erläutert.

In einer ersten Alternative gemäß den Fig. 4 und 5 werden vier in Draufsicht (Fig. 5) im Quadrat angeordnete Beleuchtungszeilen 26 eingesetzt, die jeweils etwa parallel zu den Gehäusekanten 27 des Bauelementes 1 stehen und die die Anschlußbeine 20 von unten beleuchten. Die sich unterhalb des Umlenkspiegels 22 befindenden Beleuchtungszeilen 26 sind zur Anpassung der Beleuchtungsverhältnisse an die Bauelementgröße und -form um ihre Längsachse 28 jeweils drehbar gelagert. In Abhängigkeit vom Bauelement 1 werden die Beleuchtungszeilen 26 mit Hilfe eines nicht näher dargestellten Antriebes automatisch in eine entsprechende Position gedreht. Bei Bauelementen, die die Größe des von den Beleuchtungszeilen 26 gebildeten Quadrates überschreiten, werden letztere nach außen, für demgegenüber kleinere Bauelemente die Beleuchtungszeilen 26 nach innen gekippt.

Als Beleuchtungsquelle für die einzelnen Beleuchtungszeilen 26 können z. B. einfarbige LED-Zeilen 29 mit Strahlformungsoptiken in Form von z. B. Zylinderlinsen 30 benutzt werden. Die Verwendung von Einzel-LEDs mit integrierten Kollimatorlinsen in Zeilenanordnung ist ebenfalls möglich.

Entsprechend der monochromen Beleuchtung durch die einfarbigen LED-Zeilen 29 kommt eine Schwarz/

weiß-(S/W)-CCD-Kamera 11 zum Einsatz.

Die in den Fig. 6 und 7 dargestellte Beleuchtungsvariante entspricht im Aufbau im wesentlichen der Variante gemäß den Fig. 4 und 5. Im Unterschied dazu werden lediglich drei zueinander geneigte 1-ED-Zeilen 29r, 29g, 29b mit den unterschiedlichen Wellenlängenbereichen rot/grün/blau ihres Lichtes eingesetzt. Die Strahlformung erfolgt wiederum über Zylinderlinsen 30. Auch die Verwendung von Einzel-LEDs mit integrierten Kollimatorlinsen ist wiederum möglich.

Die Beleuchtung in drei unterschiedlichen Wellenlängenbereichen sowie die entsprechende Verwendung einer Rot/grün/blau-(RGB)-CCD-Kamera 11 ermöglichen es, bereits bei einer Einzelaufnahme eine Aussage über die Koplanarität der Lötflächen 24 der Anschlußbeine 20 zu treffen.

Bei der in Fig. 8 und 9 gezeigten Beleuchtungsvariante dient als Lichtquelle eine einfarbige LED-Matrix 32, die sich unterhalb des teildurchlässigen Umlenkspiegels 22 befindet. Die Strahlformung kann mit einer Fresnellinse 31 erfolgen. Auch ist wiederum die Verwendung von Einzel-LEDs mit je einer Kollimatorlinse bei der LED-Matrix 32 möglich. Entsprechend der monochromen Beleuchtung kommt eine S/W-CCD-Kamera zum Einsatz.

Bei der in den Fig. 10 und 11 gezeigten Variante kommt eine mehrfarbige LED-Matrix 32 mit den Wellenlängen-Bereichen rot/grün/blau zum Einsatz. Die LEDs 33r bzw. 33g bzw. 33b gleicher Wellenlänge werden dabei segmentartig, symmetrisch angeordnet, wie dies aus Fig. 11 deutlich wird.

Die Strahlformung kann wiederum zum Beispiel mit einer Fresnellinse 31 oder je LED mit einer Kollimatorlinse erfolgen. Die Beleuchtung in drei Wellenlängenbereichen sowie die entsprechende Verwendung einer RGB-CCD-Kamera 11 ermöglichen – wie bereits oben erwähnt – bei dieser Variante, bereits bei einer Einzelaufnahme eine Aussage über die Koplanarität der Lötflächen 24 der Anschlußbeine 20 zu treffen.

Bei der Variante gemäß den Fig. 12 und 13 werden vier wiederum im Quadrat angeordnete Beleuchtungszeilen 26 eingesetzt, die wie bei der Variante gemäß den Fig. 4 und 5 zur Anpassung der Beleuchtung an die Bauelement-Größen drehbar gelagert sind. Als Lichtquelle werden Kaltlichtquellen mit entsprechender Einspeisung über Lichtleitfasern 34 verwendet. Vor dem lichtaustrittseitigen Ende der Lichtleitfasern 34 sind rot/grün/blau-Farbfiler 34' und Zylinderlinsen 30 gesetzt. Alternativ kann eine Strahlformungsoptik mit integriertem Farbfiler (rot/grün/blau) zum Einsatz kommen. Die Kamera ist wiederum eine polychrome RGB-CCD-Kamera 11. Wiederum kann bereits bei einer Einzelaufnahme eine Aussage über die Koplanarität der Bauelement-Anschlüsse getroffen werden.

Die letzte Variante für eine optische Meßeinrichtung innerhalb der Geometrie-Erfassungseinrichtung 9 ist in Fig. 14 dargestellt. Hierbei wird eine Kaltlicht-Lampe 35 eingesetzt, deren Beleuchtungsgeometrie durch eine Fresnellinse 31 (oder eine diffraktive Optik) eingestellt wird. Zwischen Fresnellinse 31 und Umlenkspiegel 22 ist ein rot/grün/blau-Farbfiler 34' eingesetzt, durch den eine Aufteilung des Lichtstromes in drei Wellenlängenbereiche erfolgt. Entsprechend wird wiederum eine RGB-CCD-Kamera 11 verwendet. Bei Verwendung einer S/W-CCD-Kamera kann dagegen auf den Farbfiler verzichtet werden. Bei der polychromen Beleuchtung kann wiederum bereits bei einer Einzelaufnahme eine Aussage über die Koplanarität der Lötflächen 24 der

Anschlußbeine 20 Bauelementes 1 getroffen werden.

Alternativ zu den vorstehend erörterten optischen Meßmethoden kann die Erfassung der Geometriedaten der Bauelement-Anschlüsse auch mit Hilfe eines orts- und zeitauflösenden Detektors z. B. einem Drucksensor, erfolgen. Dieser Detektor würde anstelle der Glasplatte eingesetzt werden. Dabei wird das Bauelement mit konstanter Geschwindigkeit auf dem Detektor aufgesetzt. In festgesetzten Zeitabständen werden die Detektorsignale der matrixförmigen Anordnung aufgenommen, deren Auswertung eine Aussage über das lokale Aufsetzen der Bauelement-Anschlüsse ermöglicht. Dadurch lassen sich mit Hilfe spezieller Auswertelgorithmen ebenfalls die genauen Anschlußkoordinaten, eine eventuelle Verdrehung der Anschlüsse sowie die optimale Bestückkraft ermitteln.

Eine weitere mechanisch/optische Meßmethode besteht darin, die Aufsetzplatte aus einem elastischen Werkstoff zu fertigen, wobei die lokale Auslenkung der Platte aufgrund des Aufsetzens der Anschlußbeine 20 des Bauelementes interferometrisch nach Art eines Michelson-Interferometers mit einer CCD-Kamera und unter Beleuchtung mittels kohärentem Licht detektiert wird.

Aus den Fig. 15 und 16 wird der grundsätzliche Aufbau der Manipulationseinrichtung 3 mit der Vakuumpipette 4 und dem Gehäusekasten 16 deutlich, in den sogenannte BSD-Module 36 (Beleuchtungs-/Strahlführungs- und -formungs-/Detektions-Modul) integriert sind. Letztere werden im folgenden noch näher beschrieben.

Wie aus Fig. 16 deutlich wird, ist die Vakuumpipette 4 an einem Kreuzgelenk 37 im Kopf 5 um zwei horizontal und rechtwinklig zueinander angeordnete Schwenkachsen 38, 39 kardanisich gelagert. Für die Verschwenkbewegung innerhalb der kardanischen Lagerung sind zwei Drehantriebe 40, 41 vorgesehen. Weiterhin ist in den Kopf 5 ein Rotationsantrieb 41' integriert, mittels dem die Vakuumpipette 4 gemeinsam mit dem Gehäusekasten 16 um die Längsachse 42 der Vakuumpipette 4 drehbar ist. Ergänzt wird der Aufbau durch einen weiteren Antrieb 43 innerhalb des Gehäusekastens 16, mittels dem die Vakuumpipette 4 relativ zum Gehäusekasten 16 um ihre Längsachse 42 drehbar und in deren Richtung (Z-Richtung) verschiebbar ist. Es handelt sich bei dem Antrieb 43 also um einen kombinierten Translations- und Rotationsantrieb, der z. B. aus Getriebe, DC-Motor und Encoder bestehen kann.

Am unteren Ende der Vakuumpipette 4 ist ein auswechselbares Mundstück 44 angebracht, das an die jeweilige Bauelementform speziell angepaßt ist. Wie aus Fig. 17 und 18 deutlich wird, ist zentral in die Vakuumpipette ein Unterdruckkanal 45 eingeformt, der mit einer steuerbaren Vakuumquelle (nicht dargestellt) in Verbindung steht. Ferner sind im radial äußeren Bereich des Querschnittes der Vakuumpipette 4 über den Umfang verteilte, parallel zur Längsachse 42 verlaufende Prozeßgaskanäle 46 zur Zuführung von Schutzgas zu dem zu fügenden bzw. zu lötenden Bauelement 1 eingeformt. Das ausströmende Schutzgas ist in den Fig. 17 und 18 durch Pfeile 47 angedeutet.

Am unteren Ende der Vakuumpipette 4 ist ein sogenannter Ringaktor 48 mit integriertem Kraftsensor angeordnet, an dem statt ein kegeliges Endstück 49 angebracht ist. Weiterhin münden die Prozeßgaskanäle 46 in einzelne Auslaßstutzen 50, die von Dichtlippen 51 umgeben sind.

Wie aus Fig. 17 deutlich wird, weist das auswechsel-



bare Mundstück 44 eine konische Innendrehung 52 auf, mit der es kraftschlüssig, jedoch lösbar mit dem kegelförmigen Endstück 49 der Vakuumpipette 4 zu verbinden ist. Im Grundkörper 53 des Mundstückes 44 sind Leitkanäle 54 für das Schutzgas vorgesehen, die über die Dichtlippen 51 mit den Prozeßgaskanälen 46 in der Vakuumpipette 4 verbindbar sind. Die Leitkanäle 54 weisen eine an das jeweils zu verlötende Bauelement angepaßte Gestaltung hinsichtlich ihrer Auslaßöffnung 55 und ihres Querschnittes auf, um eine optimale Beaufschlagung der Fügebereiche an den Anschlußbeinen 20 des Bauelementes 1 mit Schutzgas zu erreichen. Durch die Dichtlippen 51 wird dabei ein Ansaugen von Luft vermieden.

In die bauelementseitige Unterseite 56 des Grundkörpers 53 ist eine kugelkalottenförmige Lageröffnung 57 eingebracht, in der ein kugelsegmentförmiges Kontaktstück 58 sitzt. Die Sicherung dieses Kontaktstückes 58 erfolgt über eine Halteplatte 59 an der Unterseite 56 des Grundkörpers 53. Das Kontaktstück 58 weist wie der Ringaktor 48 und das kegelförmige Endstück 49 eine mit dem Unterdruckkanal 45 fluchtende, zentrische Bohrung 60 auf. Das Kontaktstück 58 ist schwenkbar im Grundkörper 53 gelagert, aber um die Längsachse 42 nicht drehbar. Beim Aufsetzen des Kontaktstückes 58 auf dem Bauelement 1 wird dieses durch den im Unterdruckkanal 45 herrschenden Unterdruck angesaugt und festgehalten. Falls Vakuumpipette 4 und Bauelement 1 nicht orthogonal zueinander stehen, erfolgt ein entsprechender Ausgleich durch die kugelgelenkartige Lagerung des Kontaktstückes 58 im Grundkörper 53. Damit erfolgt ein kardanischer Ausgleich beim Bestücken des Schaltungsträgers 2 mit einem Bauelement 1 mittels der Vakuumpipette 4.

Der weiter oben erwähnte Ringaktor 48 mit integriertem Kraftsensor dient einerseits zur Ultraschall-Anregung des Bauelementes 1 während des Füge- bzw. Lötvorganges, indem der Ringaktor das Mundstück 44 und damit das daran festgehaltene Bauelement in mechanische Schwingungen im Ultraschallbereich versetzt. Andererseits dient der in den Ringaktor 48 integrierte Kraftsensor (nicht separat dargestellt) zur Erfassung der Aufsetzkraft, mit der das Bauelement 1 mittels der Manipulationseinrichtung 3 auf die Aufsetzplatte 19 der Geometrie-Erfassungseinrichtung 9 bzw. auf den Schaltungsträger 2 aufgesetzt wird. Damit läßt sich die optimale Aufsetzkraft im Zusammenspiel mit der Geometrie-Erfassungseinrichtung 9 ermitteln und anschließend Bauelement 1 mit dieser ermittelten Kraft definiert auf den Schaltungsträger 2 aufsetzen.

Im Zusammenhang mit Fig. 16 wurde das BSD-Modul 36 im Gehäusekasten 16 erwähnt. Es sind vier dieser Module 36 im Quadrat in diesem Gehäusekasten 16 eingebaut, wie dies anhand der Fig. 21 und 22 noch näher erläutert wird.

Wie aus Fig. 19 und 20 deutlich wird, weist jedes dieser BSD-Module 36 eine zentrale Strahlführungs- und -formungseinheit (SFF-Einheit) 61, eine auf der einen Seite der SFF-Einheit 61 angeordnete Beleuchtungseinheit 62 sowie eine auf der anderen Seite der SFF-Einheit 61 angeordnete Detektionseinheit 63 auf. Die SFF-Einheit 61 ist der Laser-Bestrahlungseinrichtung 13 zugeordnet und weist einen mehrteiligen Grundkörper 64 auf. In diesen münden eine Vielzahl der erwähnten Lichtleitfasern 15, die mit den separat ansteuerbaren Laserquellen 14 in Verbindung stehen. Vor dem lichtaustrittseitigen Ende jeder Lichtleitfaser 15 sitzt in einer Durchgangsbohrung 65 eine Kollimierlinse 66. Am Ende der Durchgangsbohrung 65 sitzt für alle Lichtleitfasern

15 und Kollimierlinsen 66, die sich linear aneinanderreihen, eine gemeinsame Zylinderlinse 67, die von einer für die Laserstrahlung transmissiven Schutzglasplatte 68 abgedeckt und damit vor Verschmutzung durch z. B. Kondensat von Flußmittelkomponenten geschützt ist. Zur Minimierung der Kondensationsbildung ist die Schutzglasplatte 68 beheizbar und zudem leicht austauschbar.

Die Anzahl der Lichtleitfasern 15 ist von dem zu verarbeitenden Spektrum von Bauelementen abhängig. Mit Hilfe der Kollimier- und Zylinderlinsen 66, 67 — anstelle derer auch Kollimier- und Fokussieroptiken mit diffraktiven Elementen oder Linsenarrays eingesetzt werden können — wird ein extrem elliptischer Fokus z. B. der Abmessung  $40 \times 0,5 \text{ mm}^2$  in der Bearbeitungsebene mit annähernd konstanter Intensitätsverteilung längs der großen Halbachse und gaussförmiger Verteilung senkrecht dazu erzeugt. Die Länge des Fokus kann zur Anpassung an die Seitenlängen unterschiedlicher Bauelemente durch Abschalten einzelner Laserdioden in der Laserquelle 14 variiert werden. Da alle Laserquellen einzeln angesteuert werden können, ist somit auch die Bearbeitung von Packungsformen möglich, bei denen Bauelement-Anschlußbeine auf einer, zwei oder drei Seiten liegen.

Alternativ zu der vorstehend geschilderten Konstruktion kann jede SFF-Einheit auch eine Lichtleitfaser und eine anamorphotische Strahlformungsoptik (z. B. eine Rasterlinsen-Linienoptik) zur Erzeugung einer kastenförmigen Intensitätsverteilung in Längsrichtung — zur Erzeugung eines Linienfokus also — mit konstanter Breite zum Einsatz kommen. Über diese einzelne Lichtleitfaser wird die Laserstrahlung von einer ansteuerbaren Laserdiode, die Bestandteil der Laserquelle 14 ist, mit entsprechender Leistung zugeführt. Die Länge des Fokus kann zur Anpassung an die Seitenlängen unterschiedlicher Bauelemente z. B. mit Hilfe einer verstellbaren Blende oder einer zusätzlichen, verschiebbaren Linsengruppe variiert werden. Auch hier werden die Strahlformungsoptiken durch Laser-, insbesondere IR-transmissive, beheizbare und leicht austauschbare Glasplatten geschützt.

Es ist auch möglich, als Strahlquelle vorzugsweise eine ansteuerbare Laserdiode entsprechender Leistung direkt an das BSD-Modul anzufanschen. Ansonsten gelten die Ausführungen zur vorstehend erörterten Variante der SFF-Einheit.

Die erwähnte Beleuchtungs- 62 und Detektionseinheit 63, wie sie aus Fig. 20 hervorgehen, bilden eine in die Manipulationseinrichtung 3 integrierte Strahlungs-Detektionseinrichtung. Mittels der Beleuchtungseinheit 62 werden nämlich die Anschlußbeine 20 des Bauelementes 1 bei der Ultraschall-Anregung mit Hilfe des Ringaktors 48 beleuchtet und das währenddessen von den ultraschallangeregten Anschlußbeinen 20 reflektierte Licht von der Detektionseinheit 63 erfaßt.

Die Beleuchtungseinheit 62 weist einen Grundkörper 69 auf, in dem eine Laserdiode 71 als Beleuchtungsquelle angeordnet ist. Deren Spannungsversorgung erfolgt über eine Leitung 71. Vor der Laserdiode 70 sitzt eine Zylinderlinse 72, die wiederum von einem für die Laserstrahlung transmissiven, beheizbaren und leicht austauschbaren Schutzglas 73 abgedeckt ist. Die Zylinderlinse 72 erzeugt einen Linienfokus im Bereich der Anschlußbeine 20.

Auf die vorstehend erörterte Beleuchtungseinheit kann im übrigen verzichtet werden, wenn die Beleuchtung direkt mit der SFF-Einheit 61 unter Einstellung

einer geringeren Laserleistung erfolgt. Bei dieser Variante ist eine Qualitätssicherung nur nach dem eigentlichen Füge- bzw. Lötprozeß möglich.

Die Detektionseinheit 63 setzt sich aus einem Sensor 74 in Matrixanordnung, z. B. einem mehrzeiligen CCD-Sensor, einer entsprechenden Abbildungsoptik mit einer Zylinderlinse 75 und einem transmissiven, beheizbaren und leicht austauschbaren Schutzglas 76 zusammen, die analog der Beleuchtungseinheit 63 in einem Grundkörper 77 angeordnet sind. Letzterer ist starr mit der SFF-Einheit 61 verbunden.

Die optischen Achsen 78, 79 des Strahlenganges bei der Beleuchtungs- 62 und Detektionseinheit 63 sind zueinander geneigt und schneiden sich im Bereich der Schärfentiefe zur Ausbildung einer gemeinsamen Fokallinie FL im Meßraum, die im Bereich der Anschlußbeine 20 des Bauelementes 1 liegt. Ein Nachführen der Vakuumpipette in Z-Richtung zum Höhenausgleich ist dabei möglich.

Erfolgt die Beleuchtung direkt mit der SFF-Einheit 61, wie vorstehend als Alternative angegeben wurde, so müssen sich auch hier die optische Achsen des Strahlenganges dieser SFF-Einheit 61 und des Strahlenganges der Detektionseinheit 63 im Bereich der Schärfentiefe zur Ausbildung einer gemeinsamen Fokallinie schneiden.

Wie aus Fig. 21 deutlich wird, sind vier BSD-Module 36 quadratisch angeordnet und um die Längsachsen 80 der SFF-Einheiten 61 jeweils drehbar in Lagerflanschen 81 im Gehäusekasten 16 drehbar gelagert. Es ist jeweils ein Drehantrieb 82 für die BSD-Module 36 vorgesehen. Jeder Drehantrieb 82 besteht z. B. aus einem Getriebe, einem DC-Motor und einem Encoder. Durch die Drehbewegung der BSD-Module 36 und einen zum Gehäusekasten 16 relativen Hub der Vakuumpipette 4 in Z-Richtung erfolgt die Anpassung der Stellung der BSD-Module an unterschiedliche Formen der Bauelemente 1.

Bei Verwendung einer externen Zentrierstation für die Bauelemente können die jeweils gegenüberliegenden BSD-Module 36 mechanisch über Zahnräder 83 miteinander zwangsgekoppelt und von einer Antriebseinheit 84, z. B. bestehend aus Getriebe, DC-Motor und Encoder, angetrieben werden. Diese Alternative ist in Fig. 22 dargestellt. Die mechanische Kopplung zwischen gegenüberliegenden BSD-Modulen 36 ist so ausgelegt, daß durch die Antriebseinheit 84 jeweils eine gegenläufige Schwenkbewegung der beiden einander zugeordneten BSD-Module 36 um den gleichen Winkelbetrag stattfindet.

Im folgenden wird die Funktionsweise der Laser-Lötvorrichtung im Zusammenhang dargestellt:

In einem ersten Schritt wird ein Bauelement 1 von der Manipulationseinrichtung 3 vom Tablett 8 übernommen. Auf diesem Tablett 8 wird eine Vielzahl von Bauelementen bereitgestellt, die für die Bestückung des Schaltungsträgers 2 bestimmt sind. Durch einen Drucksensor in der nicht dargestellten Unterdruckleitung der Vakuumpipette 4 wird, die ordnungsgemäße Aufnahme des Bauelementes 1 überwacht.

Der vorstehende Ablauf erfolgt bei Position A gemäß Fig. 1. Anschließend wird das Bauelement 1 in Position B gemäß Fig. 1 überführt und oberhalb der Aufsetzplatte 19 der Geometrie-Erfassungseinrichtung 9 im Bereich der Schärfentiefe der CCD-Kamera 11 positioniert. Hier erfolgt die Erfassung der Lage und Ausdehnung der einzelnen Anschlußbeine 20 des Bauelementes 1 im Bereich deren Lötflächen 24 in einer zur Bestück-

kungsebene parallelen Ebene mit Hilfe von Segmentierungsalgorithmen des Bildverarbeitungssystems. Falls die ermittelte Ist-Geometrie der Anschlußbeine 20 hinsichtlich Rastermaß, Breite und Winkelabweichung der Anschlußbeine 20 in der Kontaktebene um mehr als ein festgelegtes Maximalmaß von der Soll-Geometrie abweicht, wird das Bauelement ausgesondert.

Aus den ermittelten Schwerpunktkoordinaten und Ausdehnungen der einzelnen Anschlußbeine 20 wird der Schwerpunkt des gesamten Bauelementes 1 bestimmt. Unter Zuhilfenahme des bekannten Ursprunges des Koordinatensystems der CCD-Kamera und der Kontaktfläche zwischen dem Mundstück 44 der Vakuumpipette 4 können der relative translatorische Versatz und der relative rotatorische Versatz des Bauelement-Schwerpunktes gegenüber der Vakuumpipette 4 berechnet werden. Mit diesen Geometriedaten kann wiederum die von der Manipulationseinrichtung 3 einzunehmende Position beim Aufsetzen des Bauelementes 1 auf den Schaltungsträger 2 (Position C in Fig. 1) berechnet werden.

Für bedrahtete Bauelemente, sogenannte "Through Hole Devices" oder kurz THDs, die im Gegensatz zu SMDs keine quaderförmige, sondern zylindrische Anschlüsse aufweisen, kann eine entsprechende Positionsbestimmung des Bauelementes vorgenommen werden. THDs, die für den Bestückvorgang mit einer Orientierung ihrer Anschlußbeine 20 nach unten aus einem Magazin übernommen werden, werden im Bereich der Schärfentiefe der CCD-Kamera 11 positioniert und anschließend werden, wie oben beschrieben, der rotatorische und translatorische Versatz der Drahtanschlüsse relativ zur Manipulationseinrichtung 3 bestimmt.

Insbesondere für vielpolige Bauelemente mit einem Anschlußraster  $\leq 0,65$  mm, erfolgt im nächsten Schritt mittels der Geometrie-Erfassungseinrichtung 9 eine Koplanaritätsmessung der Anschlußbeine 20. Dies geschieht durch ein Aufsetzen des Bauelementes 1 mit seinen Anschlußbeinen 20 auf die Aufsetzplatte 19, wie dies in Fig. 2 und 3 dargestellt ist. Der in den Ringaktor 48 integrierte Kraftsensor ermöglicht dabei die Bestimmung des Kraft-Weg-Verlaufes beim Aufsetzen. In festgelegten Zeitintervallen, Positionsinkrementen oder Kraftwerten werden nun über die CCD-Kamera 11 Bilder des winkelabhängigen, reflektierten Streulichtes aufgenommen, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist. Die Auswertung dieser Bilder ermöglicht eine Aussage über den momentanen Aufsetzzustand der Anschlußbeine 20 auf der Aufsetzplatte 19. Die erhaltenen Grauwertverteilungen innerhalb der durch Segmentierung bestimmten Anschlußbereiche — also der Lötflächen 24 — werden mit üblichen Bildverarbeitungsalgorithmen — z. B. Bildung von Grauwertsummen oder lokalen Helligkeitsgradienten unter Einbeziehung der vorher bestimmten Schwerpunkte — zu einem Maß für die Koplanarität der Lötflächen 24 der Anschlußbeine 20 aufbereitet. Es wird die sogenannte Koplanaritätsfunktion K erhalten.

Das Bauelement 1 wird dabei solange rechtwinklig in Z-Richtung zur Aufsetzplatte 19 zugestellt, bis entweder der Gradient  $dK/dz$  der ortsabhängigen Koplanaritätsfunktion gleich Null ist oder eine vorgegebene Maximalkraft bzw. ein Maximalweg erreicht sind. Liegt der maximale Funktionswert der Koplanaritätsfunktion nicht in einem durch Technologieuntersuchungen festgelegten Toleranzbereich oder liegen trotz hoher Niederhaltekraft nicht alle Lötflächen 24 der Anschlußbeine 20 plan auf der Aufsetzplatte 19 auf, so wird das Bauelement 1 ausgesondert.



Während des vorstehend erläuterten Aufsetzvorganges wird zusätzlich der durch den integrierten Kraftsensor erfaßte Kraftverlauf aufgezeichnet, der durch das Feder- und Gleitverhalten der Anschlußbeine 20 auf der Aufsetzplatte 19 bestimmt wird. Durch eine Korrelation mit dem Verlauf der Koplanaritätsfunktion K wird daraus die optimale Bestückkraft abgeleitet, die eine maximal erreichbare Kontaktfläche zwischen den einzelnen Anschlußbeinen 20 und einer idealen Anschlußebene gewährleistet. Hierbei ist zu ergänzen, daß die Koplanaritätsfunktion K in der Regel mit einer experimentell ermittelten Korrekturfunktion zu multiplizieren ist, um die topographischen und tribologischen Zustände der realen Lötflächen des Schaltungsträgers 2 im Vergleich zur gläsernen Aufsetzplatte 19 zu berücksichtigen. Der Wert der optimalen, korrigierten Kraft dient als Steuergröße für das definierte Aufsetzen des Bauelementes 1 auf den Schaltungsträger 2.

In einem möglichen weiteren Schritt kann eine Vermessung der Topographie von z. B. im HAL-Verfahren vorverzinnten Anschlußflächen 24' mit Hilfe eines Laser-Triangulations- oder Autofokussensors erfolgen, um bestehende Höhenunterschiede durch eine Anpassung der Aufsetzkraft zu kompensieren, sofern es der Verlauf der Koplanaritätsfunktion K erlaubt. Liegt die Höhentoleranz der Kontaktflächen innerhalb eines engen Toleranzbereiches, wie dies z. B. bei galvanisch aufgetragenen SnPb-Schichten der Fall ist, ist dieser Vermessungsvorgang nicht notwendig.

Nach der vorstehend beschriebenen Erfassung der Geometriedaten für die Lage der Anschlußbeine 20 und deren Koplanarität erfolgt der Transport des Bauelementes 1 zum Schaltungsträger 2 (Pos. C in Fig. 1). Dabei wird das Bauelement 1 durch eine Rotation der Vakuumpipette 4 um ihre Längsachse 42 in seine Soll-Lage gedreht. Aus seiner Ist-Lage an der Vakuumpipette 4 und den entsprechenden Geometrie-Daten der Anschlußbeine 20 erfolgt die Ermittlung der notwendigen Drehstellung der vier quadratisch angeordneten BSD-Module 36 bezüglich ihrer Rotation um die Längsachsen 80 für die nachfolgende Lageerkennung der Anschlußflächen 24' auf dem Schaltungsträger 2 sowie für den anschließenden Füge- bzw. Lötprozeß und die prozeßbegleitende Qualitätssicherung.

Es ist zu erwähnen, daß die Lageerkennung des Bauelementes 1 bzw. dessen Anschlußbeine 20 relativ zur Vakuumpipette 4 bzw. relativ zu den BSD-Modulen 36 auch während des Transports des Bauelementes 1 von Position B zu Position C erfolgen kann. Zu diesem Zweck werden die BSD-Module 36 in eine Position gedreht, in der die Anschlußbeine 20 durch die Beleuchtungseinheit 62 der BSD-Module 36 bestrahlt werden können. Über die Auswertung der durch Rückreflektion auf die Detektionseinheit 63 erzeugten Signale kann ebenfalls die Ist-Lage des Bauelement-Schwerpunktes relativ zur Vakuumpipette 4 bzw. zu dem Gehäusekasten 16 mit den BSD-Modulen 36 sowie im günstigen Fall sogar die projizierte Ist-Lage der Bauelement-Anschlußbeine 20 bestimmt werden. Auch aus diesen Daten lassen sich die Drehwinkel der BSD-Module 36 um ihre Längsachse 80 für die nachfolgende Lageerkennung der Anschlußflächen 24' auf dem Schaltungsträger 2 sowie für den anschließenden Füge- bzw. Lötprozeß bestimmen. Daran schließt sich dann die Drehung der Vakuumpipette 4 um ihre Längsachse 42 um einen entsprechenden Winkel an, damit das Bauelement 1 parallel zu den vier quadratisch angeordneten BSD-Modulen 36 ausgerichtet ist.

Für vielpolige Fine-Pitch-Bauelemente erfolgt im nächsten Schritt die Lageerkennung der Anschlußflächen 24' (Fig. 15) auf dem Schaltungsträger 2, mit denen die Lötflächen 24 der Anschlußbeine 20 verbunden werden sollen. Zu diesem Zweck wird das Bauelement 1 in einer Höhe von ca. 2 mm über der Oberfläche des Schaltungsträgers 2 positioniert. Die BSD-Module 36 werden soweit nach außen gedreht, bis die Beleuchtungseinheit 62 und Detektionseinheit 63 nicht mehr die Anschlußbeine des Bauelementes 1, sondern die von den Anschlußflächen 24' ausgehenden Rückreflektionen erfaßt.

Aus der Ist-Lage von Vakuumpipette 4 und Bauelement 1 einerseits sowie der Ist-Lage des Schaltungsträgers 2 mit seinen Anschlußflächen 24' andererseits werden die notwendigen Positionsdaten für das Aufsetzen des Bauelementes 1 auf den Schaltungsträger 2 berechnet. Durch eine Ansteuerung der entsprechenden Positioniersysteme wird der Überdeckungsfehler minimiert.

Mit Hilfe der ermittelten geometrischen Daten erfolgt anschließend das positionsgenaue Aufsetzen des Bauelementes 1 auf den Schaltungsträger 2 durch ein Absenken der Vakuumpipette 4 nach unten. Durch das erwähnte kugelsegmentförmige Kontaktstück 58 am Mundstück 44 der Vakuumpipette 4 wird dabei — wie bereits erwähnt — eine eventuelle Nichtorthogonalität zwischen Bauelement 1 und Schaltungsträger ausgeglichen. Während des Aufsetzens und Niederhaltens bzw. Fixierens des Bauelementes 1 während des Füge- bzw. Lötprozesses wird über den im Ringaktor 48 integrierten Kraftsensor die jeweils aktuelle Aufsetzkraft erfaßt und das Niederfahren der Vakuumpipette 4 entsprechend gesteuert. Das Aufsetzen erfolgt also während des gesamten Prozesses mit der von der Geometrie-Erfassungseinrichtung 9 ermittelten optimalen Aufsetzkraft.

Nach dem Aufsetzen des Bauelementes 1 werden die BSD-Module 36 entsprechend der Bauelement-Ist-Lage um ihre Längsachse 80 so in Position gedreht, daß die Anschlußbeine 20 im Bereich ihrer Lötflächen 24 durch den von der SFF-Einheit 61 emittierten Laserstrahl beaufschlagt werden. Aufgrund des Linienfokus dieses Laserstrahles werden alle Anschlußbeine an einer Seite des Bauelementes 1 gleichzeitig erhitzt und gefügt bzw. gelötet. Hierbei ist zu erwähnen, daß bei der Verwendung von THDs mit speziellen, geometrieangepaßten Lotdepots gearbeitet werden muß.

Während des Füge- bzw. Lötprozesses wird über das Bauelement 1 in die Fügestelle zwischen Löt- 24 und Anschlußflächen 24' zusätzlich zur Laserstrahlung Ultraschallenergie mittels des Ringaktors 48 an der Vakuumpipette 4 eingeleitet. Durch diese Anregung der Fügezone wird — wie weiter oben ausführlich erörtert — die Fügeverbindung qualitativ verbessert. Zur weiteren Perfektionierung wird durch die Prozeßgaskanäle 46 Schutzgas zugeführt.

Während des Füge- bzw. Lötprozesses — oder auch danach — erfolgt eine Überwachung der Qualität der Fügeverbindung. In die Laser-Lötvorrichtung ist also eine Qualitätssicherung integriert. Das entsprechende Verfahren zur Qualitätsüberwachung von laser-induzierten Füge- bzw. Lötprozessen zwischen Anschlußelementen vielpoliger elektronischer Bauelemente und einem Schaltungsträger beruht dabei auf der Erkenntnis, daß sich das Schwingungsverhalten der einzelnen, durch Ultraschall angeregten Bauelement-Anschlußbeine 20 während des Fügens bzw. Lötens durch die Aufschmelz- und Benetzungsprozesse und nach dem Fügen bzw. Löten im erstarrten Zustand signifikant unterschei-

det. Dabei können die lokale Dämpfung und das zeitliche Abklingen der Elongation vor allem im Bereich der Schulter der Anschlußbeine 20 als Maß für die Qualität der Füge- bzw. Lötverbindung herangezogen werden.

Entsprechend wird unmittelbar das Bauelement 1 während des Füge- bzw. Lötprozesses mit Ultraschallenergie beaufschlagt, was durch den erwähnten Ringaktor 48 erfolgt. Zusätzlich werden die Anschlußbeine 20 in einem von den Lötflächen 24 beabstandeten Bereich, optimalerweise im Schulterbereich 85 jeweils mit Hilfe der zugeordneten Beleuchtungseinheit 62 beleuchtet. Durch diese Ultraschallanregung werden die Anschlußbeine 20 in eine oszillierende Bewegung versetzt, infolge derer das im Schulterbereich 85 der Anschlußbeine 20 jeweils auftreffende, emittierte Licht der Beleuchtungseinheit 62 in einen bestimmten Raumwinkelbereich reflektiert wird. Dieses reflektierte Licht wird orts- und zeitaufgelöst von der jeweils zugeordneten Detektionseinheit 63 erfaßt. Dabei ist die Dämpfung dieses angeregten Systems abhängig von den Aggregatzuständen im Fügevolumen — also des Lotes — sowie von der Benetzung der Löt- 24 und Anschlußflächen 24' der Fügepartner. Die vorstehenden Parameter beeinflussen direkt das Schwingungsverhalten der Anschlußbeine 20 und somit die Amplitude, Frequenz und Phase des detektierten Meßsignals. Die zeitliche Veränderung dieser Kennwerte gibt somit direkte Auskunft über die Aggregatzustände, das Auftreten von Phasenübergängen, deren zeitliche Dauer sowie — gegebenenfalls — die unzureichende Benetzung einzelner Bauelement-Anschlußbeine. Daraus kann direkt auf die Qualität der geschaffenen Füge- bzw. Lötverbindung geschlossen werden.

Zusätzlich oder alternativ kann das vorstehende Anregungs- und Meßprinzip zur Qualitätssicherung gegebenenfalls mit anderen Testparametern — nämlich Amplitude, Frequenz und Tastverhältnis der Anregung — auch nach dem Füge- bzw. Lötprozeß zur Qualitätsüberwachung der Kontaktierung eingesetzt werden. In diesem Fall kann die Beleuchtung des Schulterbereiches 85 der Anschlußbeine 20 auch direkt mit den SFF-Einheiten 61 unter Einstellung einer geringeren Laserleistung erfolgen, die nicht zu Phasenübergängen — also nicht zum Aufschmelzen der Füge- bzw. Lötverbindung — führt. Die Dämpfung der einzelnen Anschlußbeine 20 ist abhängig von der geometrischen Meniskus-Ausbildung an der Füge- bzw. Lötstelle und beeinflusst somit ebenfalls die Größe des detektierten Signals des reflektierten Lichtes. Der zeitliche Verlauf des Signals gibt somit direkt Auskunft über die Qualität der Füge- bzw. Lötstelle im erstarrten Zustand.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile sind wie folgt kurz zusammenzufassen:

- Das aus Vakuumpipette 4 und Gehäusekasten 16 mit den BSD-Modulen 36 bestehende Bestück- und Lötmodul kann auf einfache Weise in einen üblichen kartesischen Bestückautomaten nach dem Pick-and-Place-System integriert werden. Dabei können die entsprechenden Freiheitsgrade zur räumlichen Manipulation dieses Moduls bzw. des Bauelements selbst in Abhängigkeit von der Bestückaufgabe und der technischen Ausstattung des Bestückautomaten realisiert werden. Letzterer kann z. B. mit einer Zentrierstation zur geometrischen Ausrichtung und Teststation zur Messung der physikalischen Größen, Widerstand, Kapazität und Induktivität sowie zur Ermittlung der

Stromdurchgangsrichtung ausgestattet sein.

- Die Erfassung der räumlichen Geometriedaten der Bauelement-Anschlüsse bzw. die Ermittlung der optimalen Bestückkraft gewährleisten einen optimalen Kontaktbereich zwischen den Löt- 24 und Anschlußflächen 24', ohne daß diese während des Bestückvorganges beschädigt werden. Die erreichbare optimierte thermomechanische Kopplung zwischen den Fügepartnern ist dabei eine Grundvoraussetzung zur Verbesserung des Fügeergebnisses beim Laserstrahllöten, bei dem gerade mit Blick auf kurze Fügezeiten mit hohen Energiedichten gearbeitet werden soll.

- Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß der zulässige Toleranzbereich der Koplanarität der Lötflächen 24 vergrößert werden kann, was sich in einer verringerten Ausschussquote bei den Bauelementen bemerkbar macht. Hierbei kann die Fehlerquote nochmals verringert werden, indem die Laser-Beleuchtungseinrichtung 13 auch zum Richten der Bauelement-Anschlüsse mit Hilfe des sogenannten Laserstrahl-Mikrobiegens eingesetzt wird. Dies ist beispielsweise aus dem Fachaufsatz von Rebhahn et al "Präzisionsbiegen und -richten von Mikrobau teilen per Laser" in EPP (1994) Nr. 9, Seiten 22 bis 23 bekannt.

- Weiterhin ist von Vorteil, daß neben der Verarbeitung von oberflächenmontierten Bauelementen speziell mit Anschlüssen in sogenannter "Gullwing-Form" auch Bauelemente mit Anschlüssen in J-Form sowie passive Bauelemente, wie Widerstände und Chipkondensatoren bestückt werden können. Eine Koplanaritätsmessung bei der J-Form ist ebenfalls möglich. Durch den Einsatz des auswechselbaren Mundstücks an der Vakuumpipette können auch SMDs (Surface Mount Devices) in sogenannter "TAB (Tape Automated Bonding)-Pak kungsform" und THDs (Through Hole Devices) verarbeitet werden.

- Weiterhin kann die Laser-Lötvorrichtung für die Verarbeitung sowohl von planaren als auch von räumlichen Schaltungsträgern eingesetzt werden. Zudem ist die mit der Laser-Lötvorrichtung erreichbare Fügezeit aufgrund des Simultanfügens aller Bauelementanschlüsse nahezu unabhängig von der Anschlußzahl.

#### Patentansprüche

1. Laser-Lötvorrichtung zum qualitätskontrollierten Auflöten von elektronischen Bauelementen (1) mit einer Vielzahl von Anschlußbeinen (2), insbesondere von Fine-Pitch-Bauelementen mit Rastermaßen unter etwa 0,65 mm, auf einen Schaltungs-träger mit:

- einer Manipulationseinrichtung (3), insbesondere einer in drei Raumrichtungen verschiebbar und drehbar angetrieben gelagerten Vakuumpipette (4), zur Aufnahme des Bauelementes aus einem Magazin (6) und zu dessen Handhabung während des Kontroll-, Bestückungs- und Füge- bzw. Lötvorganges,

- einer Geometrie-Erfassungseinrichtung (9) zur Ermittlung der Lage und Ausdehnung der Anschlußbeine (20) des Bauelementes (1), zur Kontrolle der Koplanarität der Anschlußbeine und/oder zur Bestimmung der optimalen Bestückungskraft für das Bauelement (1),

- einer Laser-Bestrahlungseinrichtung (13) zur Erzeugung eines oder mehrerer, für einen Simultan-Füge- bzw. -Lötvorgang verwendeter Laserstrahlen,
  - einer Ultraschall-Anregungseinrichtung (48) in der Manipulationseinrichtung (3) zur Ultraschall-Anregung des Bauelementes (1) während des Füge- bzw. Lötvorganges und/oder danach, und
  - einer Schwingungs-Detektionseinrichtung (62, 63) zur Detektion der durch die Ultraschall-Anregung des Bauelementes (1) an dessen Anschlußbeinen (20) erzeugten mechanischen Schwingungen, die für die Qualität der Füge- bzw. Lötverbindung repräsentativ sind.
2. Laser-Lötvorrichtung insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Geometrie-Erfassungseinrichtung (9) aufweist
- eine lichtdurchlässige Aufsetzplatte (19) zum Aufsetzen des Bauelementes (1) mit seinen Anschlußbeinen (20) mittels der Manipulationseinrichtung (3)
  - eine Lichtquelle (21) zur Beleuchtung der Anschlußbeine (20), die auf der dem Bauelement (1) abgewandten Seite der Aufsetzplatte (19) angeordnet ist,
  - einen teildurchlässigen Umlenkspiegel (22) zwischen Aufsetzplatte (19) und Lichtquelle (21), der das von den Anschlußbeinen (20) reflektierte Licht der Lichtquelle (21) seitlich ablenkt,
  - eine Kamera (11) zur Erfassung des vom Umlenkspiegel (22) abgelenkten Lichtes (23) und
  - eine Bildverarbeitungseinrichtung zur Ermittlung der Koordinaten und Koplanarität der Anschlußbeine (20) aus den Bildsignalen der Kamera (11).
3. Laser-Lötvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (21) vier vorzugsweise im Quadrat angeordnete, zeilenförmige Beleuchtungseinheiten (26) aufweist.
4. Laser-Lötvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß jede zeilenförmige Beleuchtungseinheit (26) um ihre Längsachse (28) schwenkbar gelagert ist.
5. Laser-Lötvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (21) in Matrixform angeordnete Einzellichtquellen, insbesondere Leuchtdioden (33) aufweist.
6. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (21) derart ausgelegt ist, daß sie monochromes oder polychromes Licht aussendet, und daß die Kamera (11) dementsprechend eine Schwarz-Weiß-CCD-Kamera oder eine farbsensitive CCD-Kamera ist.
7. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Lichtquelle (21) und Umlenkspiegel (22) eine Strahlformungsoptik, insbesondere eine Zylinderoptik (30) bei zeilenförmigen Beleuchtungseinheiten (26) bzw. eine Fresnel-Linse (31) und/oder diffraktive Optik bei in Matrixform angeordneten Einzellichtquellen (33), positioniert ist.
8. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß in die Manipulationseinrichtung (3) ein Kraftsensor zur Messung

des Aufsetzkraftvektors beim Aufsetzen des Bauelementes (1) auf die Aufsetzplatte (19) der Geometrie-Erfassungseinrichtung (9) bzw. auf den Schallsträger (2) integriert ist.

9. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Manipulationseinrichtung (3) einen Ultraschallgenerator, insbesondere einen Ringaktor (48) mit integriertem Kraftsensor, aufweist.

10. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß in die Manipulationseinrichtung (3) die Schwingungs-Detektionseinrichtung integriert ist, die zumindest eine Beleuchtungseinheit (62) zur Beleuchtung der Anschlußbeine (20) und eine jeweils zugeordnete, lichtempfindliche Detektionseinheit (63) zur Erfassung des von den ultraschall-angeregten Anschlußbeinen (20) reflektierten Lichtes der Beleuchtungseinheit (62) aufweist.

11. Laser-Lötvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß jede Beleuchtungs- (62) und Detektionseinheit (63) mit jeweils einer Strahlführungs- und -formungseinheit (61) der Laser-Bestrahlungseinrichtung (13) zu einem gemeinsamen Modul (BSD-Modul 36) zusammengefaßt sind.

12. Laser-Lötvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das gemeinsame Modul (BSD-Modul 36) um seine Längsachse (80) schwenkbar gelagert ist.

13. Laser-Lötvorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß vier der gemeinsamen Module (BSD-Module 36) im Quadrat angeordnet sind.

14. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß jede Strahlführungs- und -formungseinheit (61) über mehrere Lichtleitfasern (15) zur Einspeisung von Laserstrahlung mit ebenso vielen separat ansteuerbaren Laserdioden verbunden ist und eine Strahlformungsoptik (66, 67) zur Bildung eines extrem elliptischen Fokus mit annähernd konstanter Intensitätsverteilung längs der großen Halbachse und gaußförmiger Verteilung senkrecht dazu auf den zu fügenden bzw. lötenden Anschlußbeinen (20) des Bauelementes (1) aufweist.

15. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß jede Strahlführungs- und -formungseinheit (61) über eine Lichtleitfaser (15) zur Einspeisung von Laserstrahlung mit einer ansteuerbaren Laserdiode verbunden ist und eine anamorphotische Strahlformungsoptik zur Erzeugung eines verstellbaren Linienfokus mit kastenförmiger Intensitätsverteilung in Längsrichtung und konstanter Breite aufweist.

16. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß jede Beleuchtungseinheit (42) eine Lichtquelle vorzugsweise in Form einer Laserdiode (70) oder LED-Zeile, sowie eine anamorphotische Strahlformungsoptik, insbesondere eine Zylinderlinse (72) aufweist.

17. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektionseinheit (63) einen Detektor (74) in Matrixanordnung und eine Abbildungsoptik (75) aufweist, wobei die optischen Achsen (78, 79) von Strahlformungs- und Abbildungsoptik (72, 75) der Beleuchtungs- (62) und Detektionseinheit (63) zueinander geneigt sind und sich im Bereich der

Schärfentiefe zur Ausbildung einer gemeinsamen Fokallinie schneiden.

18. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Vakuumpipette (4) der Manipulationseinrichtung (3) ein kegeliges Endstück (49) aufweist und mit einem Mundstück (44) mit konischer Innenbohrung (52) kraftschlüssig, jedoch lösbar, verbunden ist.

19. Laser-Lötvorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein Grundkörper (53) des Mundstücks (44) in einer Kugelgelenkanordnung (57, 58) gelagertes Kontaktstück (58) aufweist, welches im Grundkörper (53) schwenkbar gelagert, aber um die Längsachse (42) nicht drehbar ist.

20. Laser-Lötvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß in die Manipulationseinrichtung (3) Prozeßgaskanäle (46) zur Zuführung von Schutzgas integriert sind.

21. Verfahren zur Qualitätsüberwachung von Laser-indizierten Lötprozessen zwischen Anschlußbeinen (20) vielpoliger elektronischer Bauelemente (1) und einem Schaltungsträger (2), dadurch gekennzeichnet

- daß das Bauelement (1) während des oder nach dem Laser-Lötprozeß mit Ultraschallenergie beaufschlagt wird,
- daß die Anschlußbeine (20) dabei beleuchtet werden,
- daß das von den Anschlußbeinen (20) dabei reflektierte Licht orts- und zeitaufgelöst detektiert wird, und
- daß das dadurch generierte Meßsignal als Qualitätskriterium mit einem Sollverlauf des Meßsignals verglichen wird.

22. Verfahren zur Qualitätsüberwachung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Anschlußbeine (20) in einem von ihren Lötflächen (24) beabstandeten Bereich, insbesondere in ihrem Schulterbereich (85) beleuchtet werden.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude, Frequenz und/oder Phase des detektierten Meßsignals erfaßt und ausgewertet werden und als Eingangsgröße für einen nachgeschalteten Regler dienen.

Hierzu 15 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

- Leerseite -

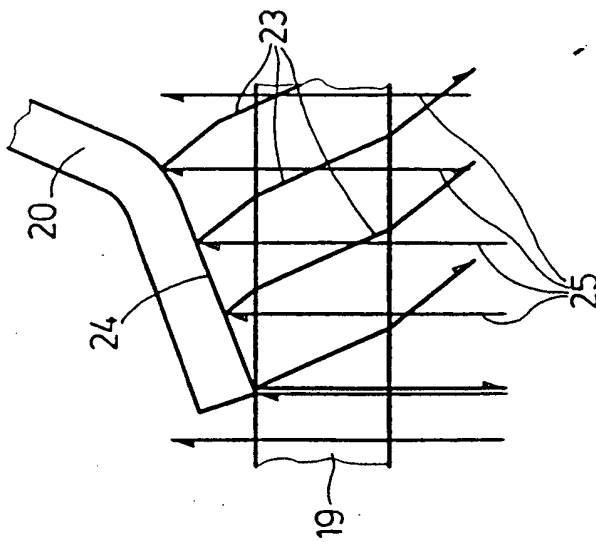


FIG. 2

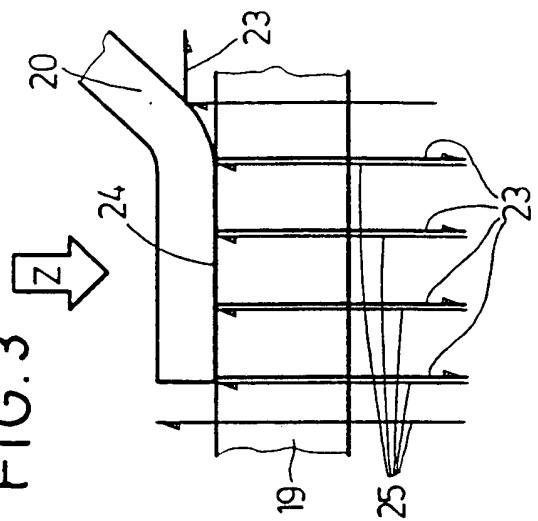
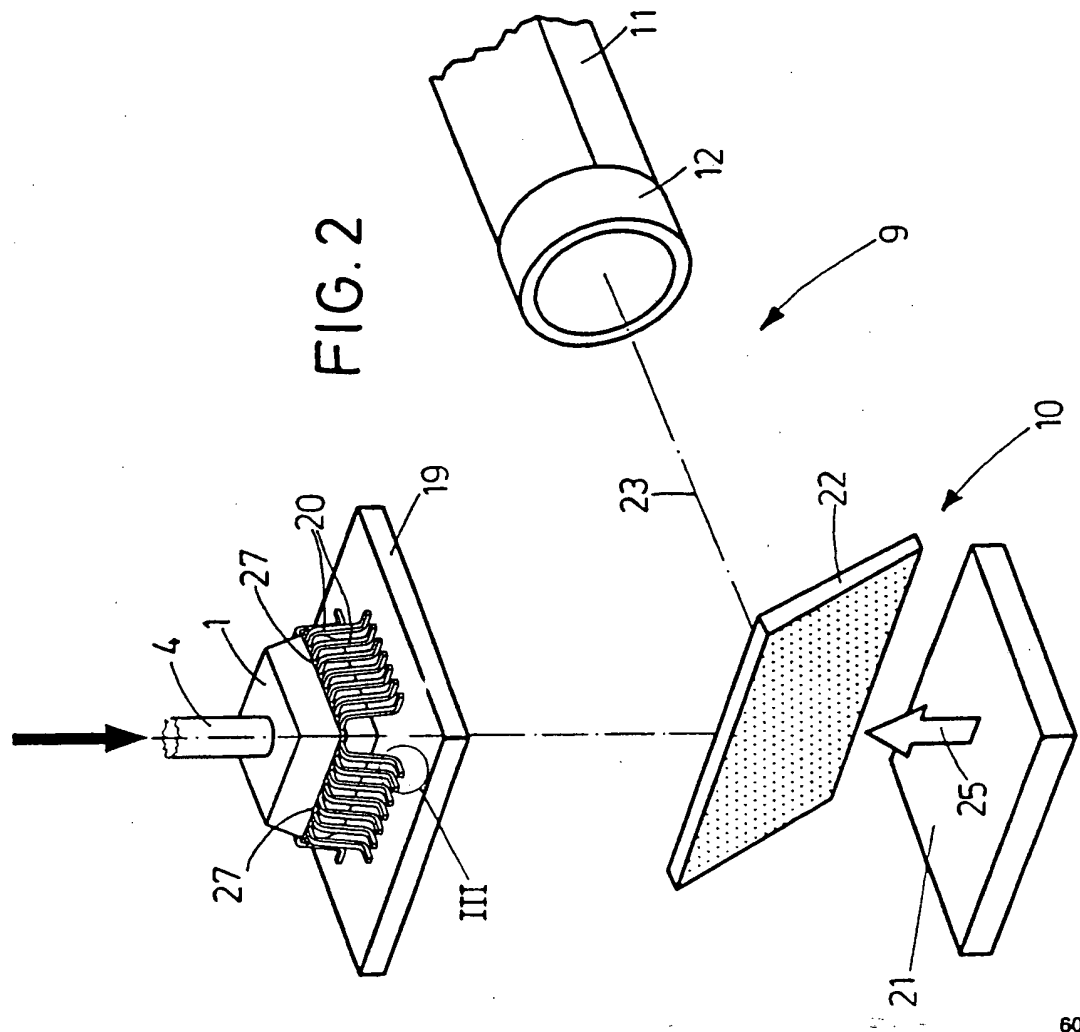
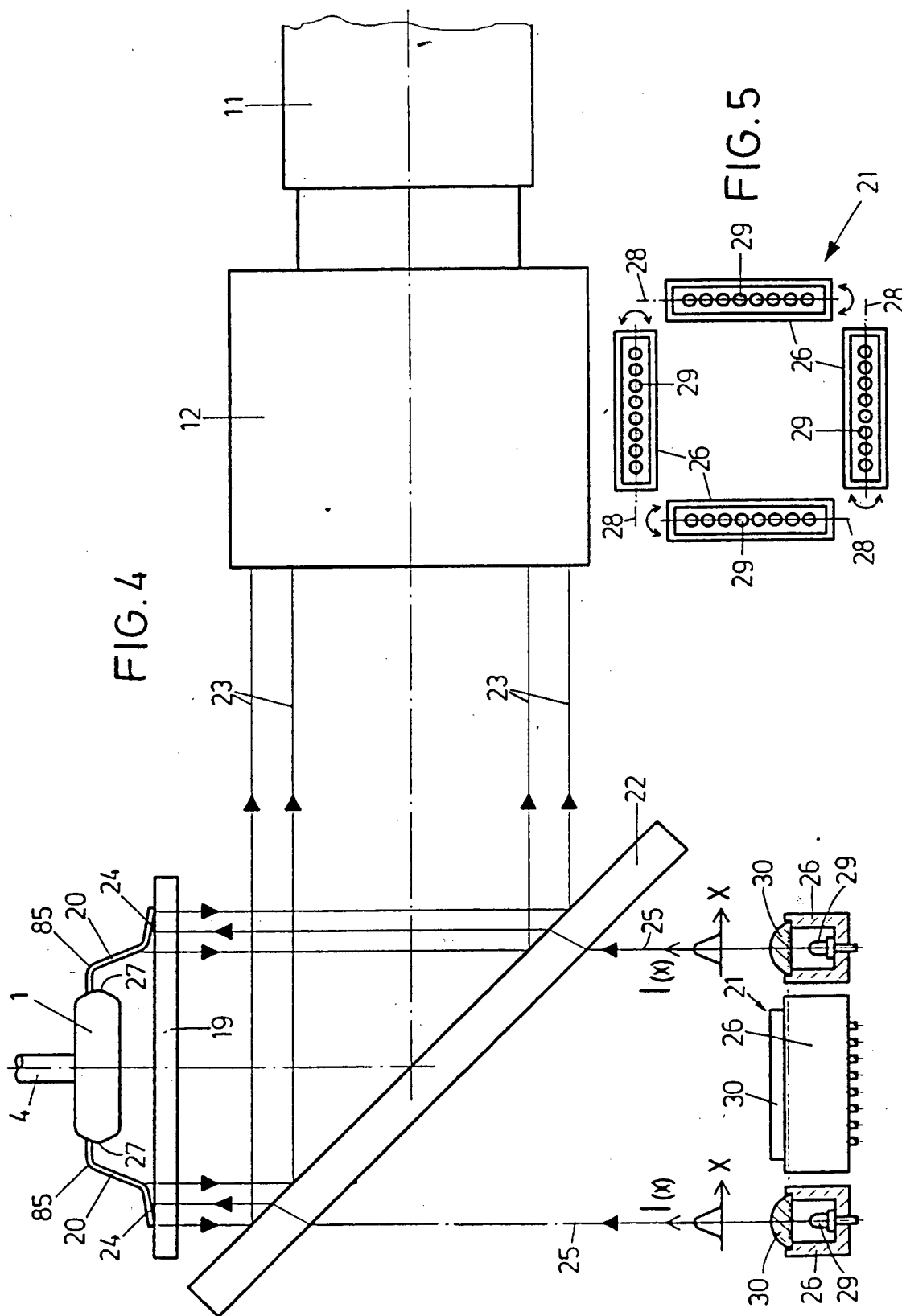
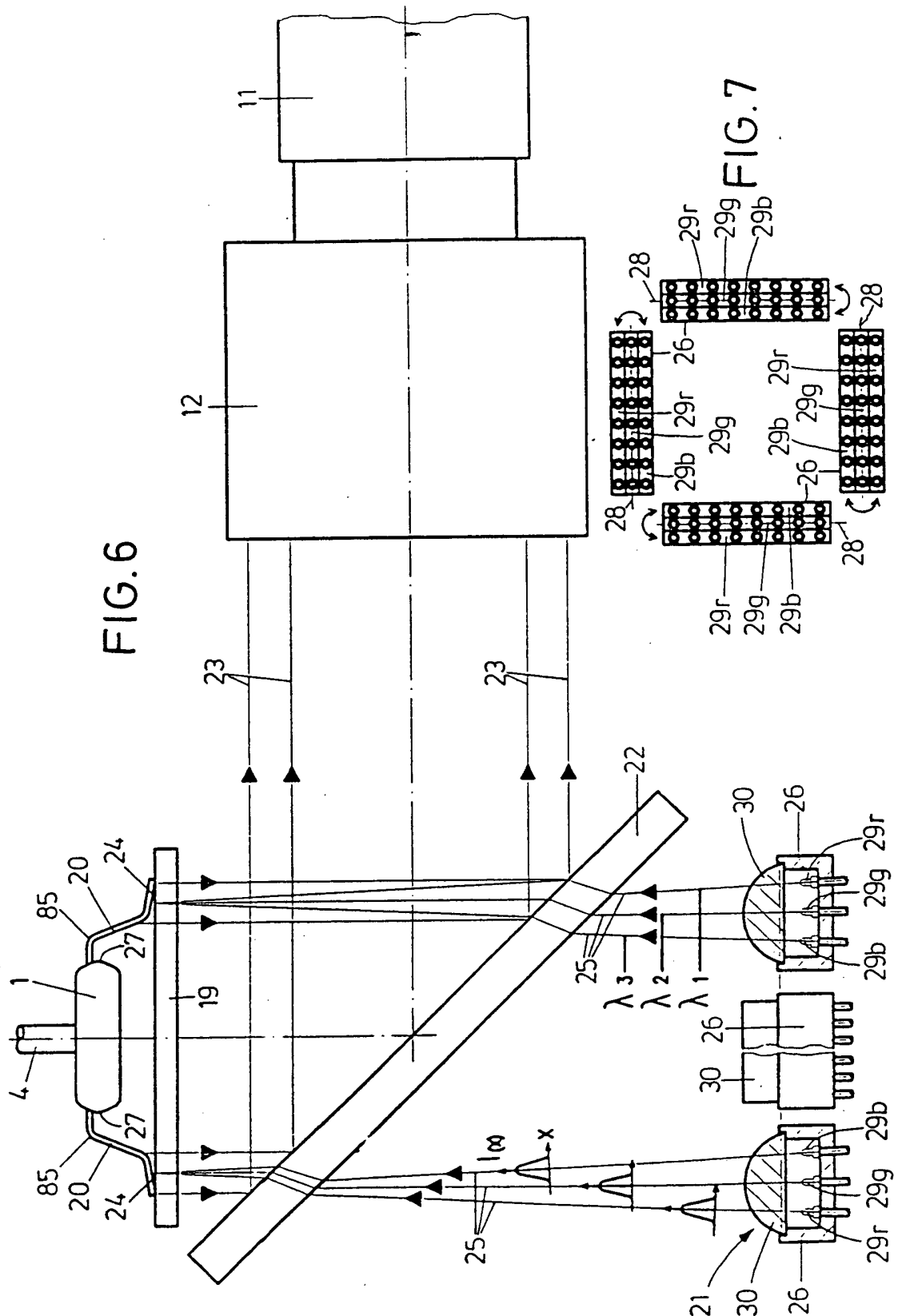


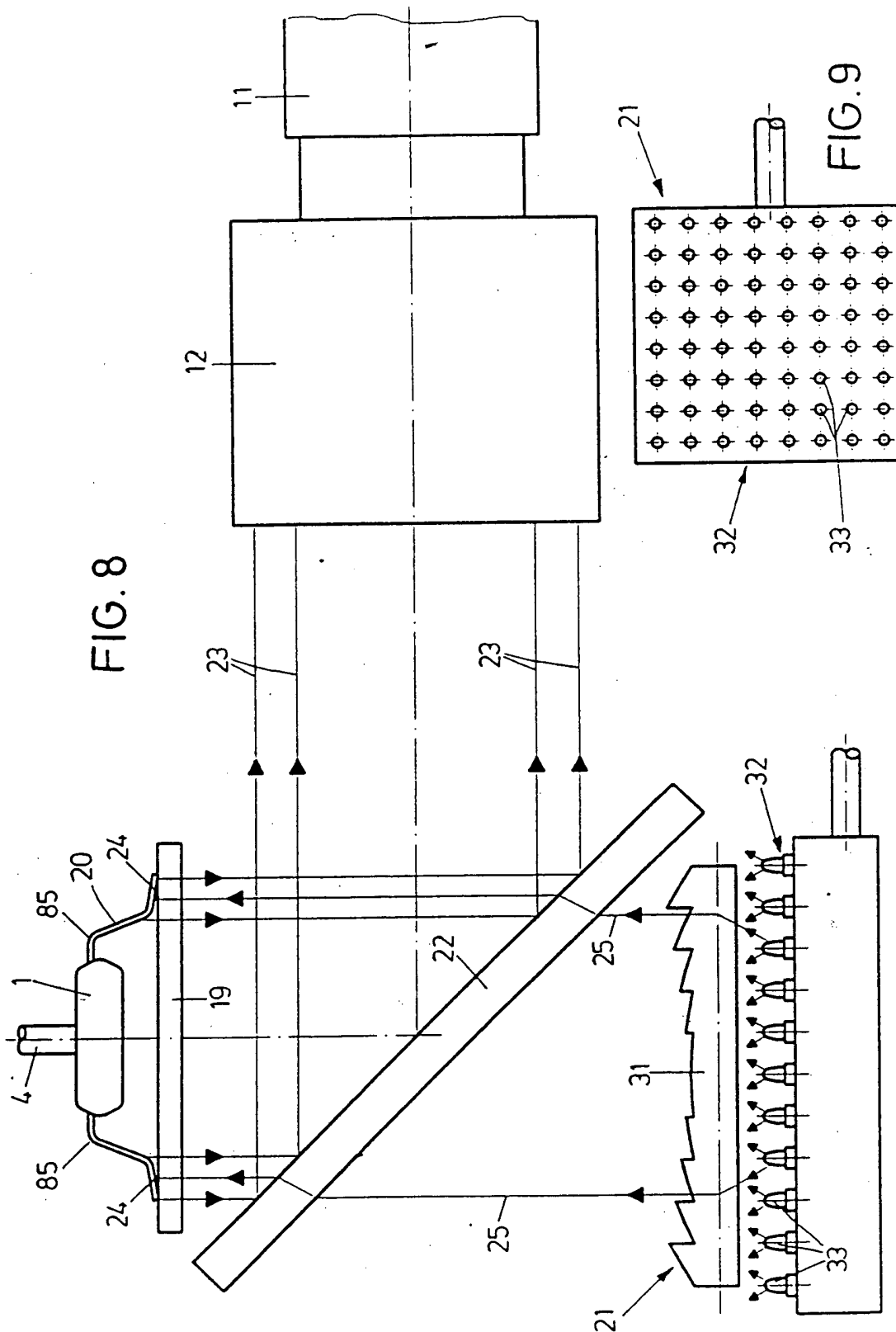
FIG. 3

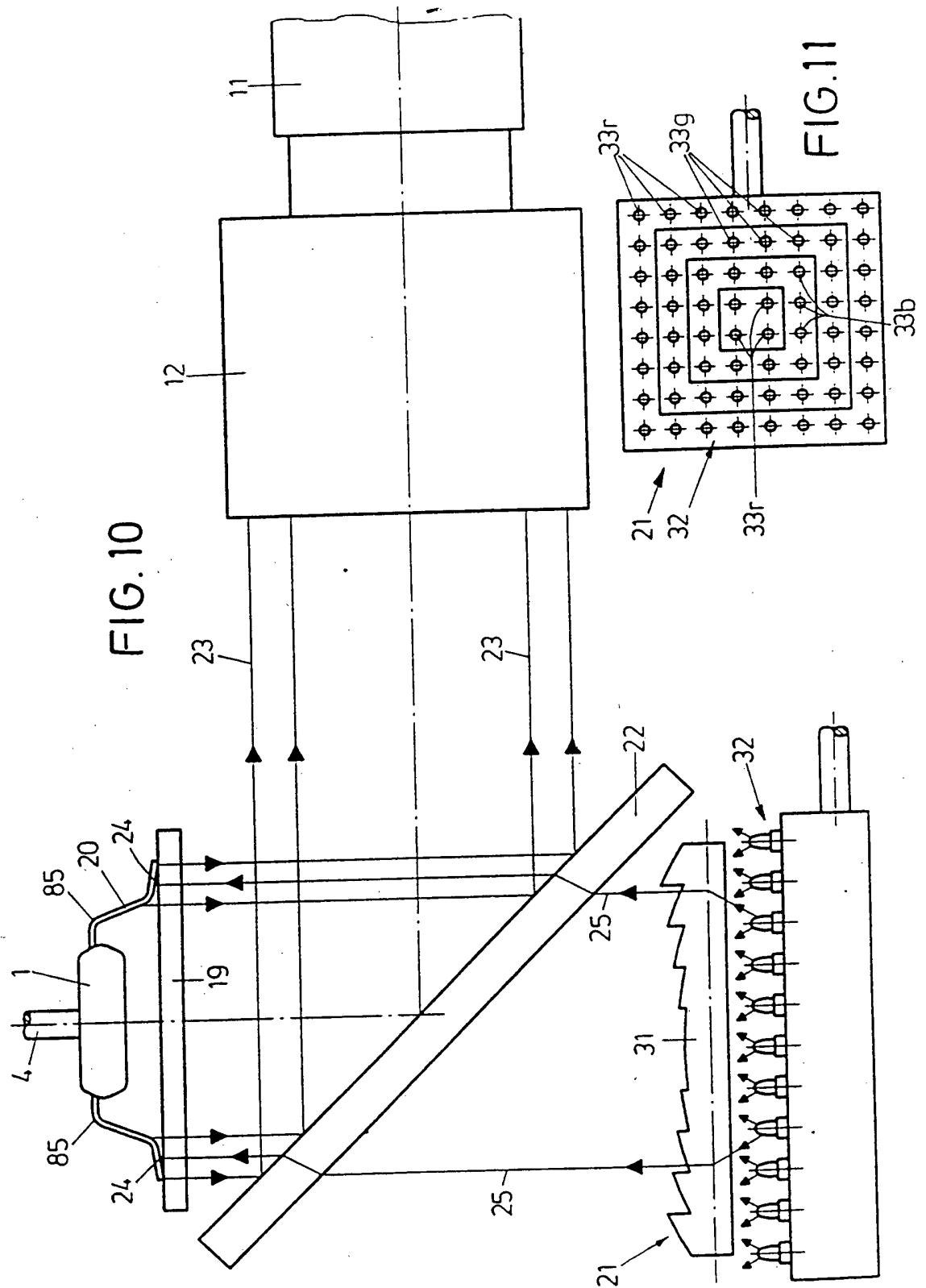












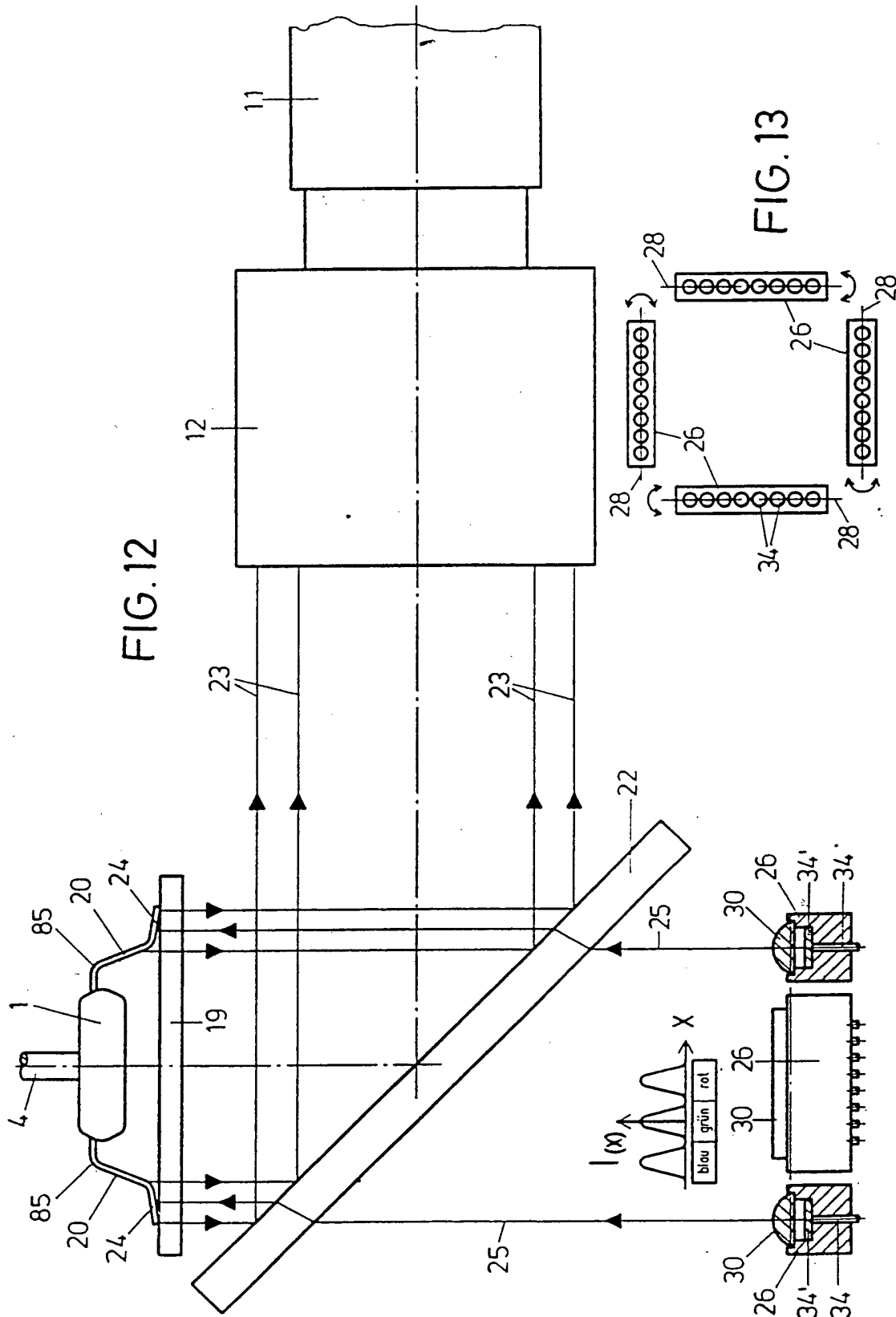
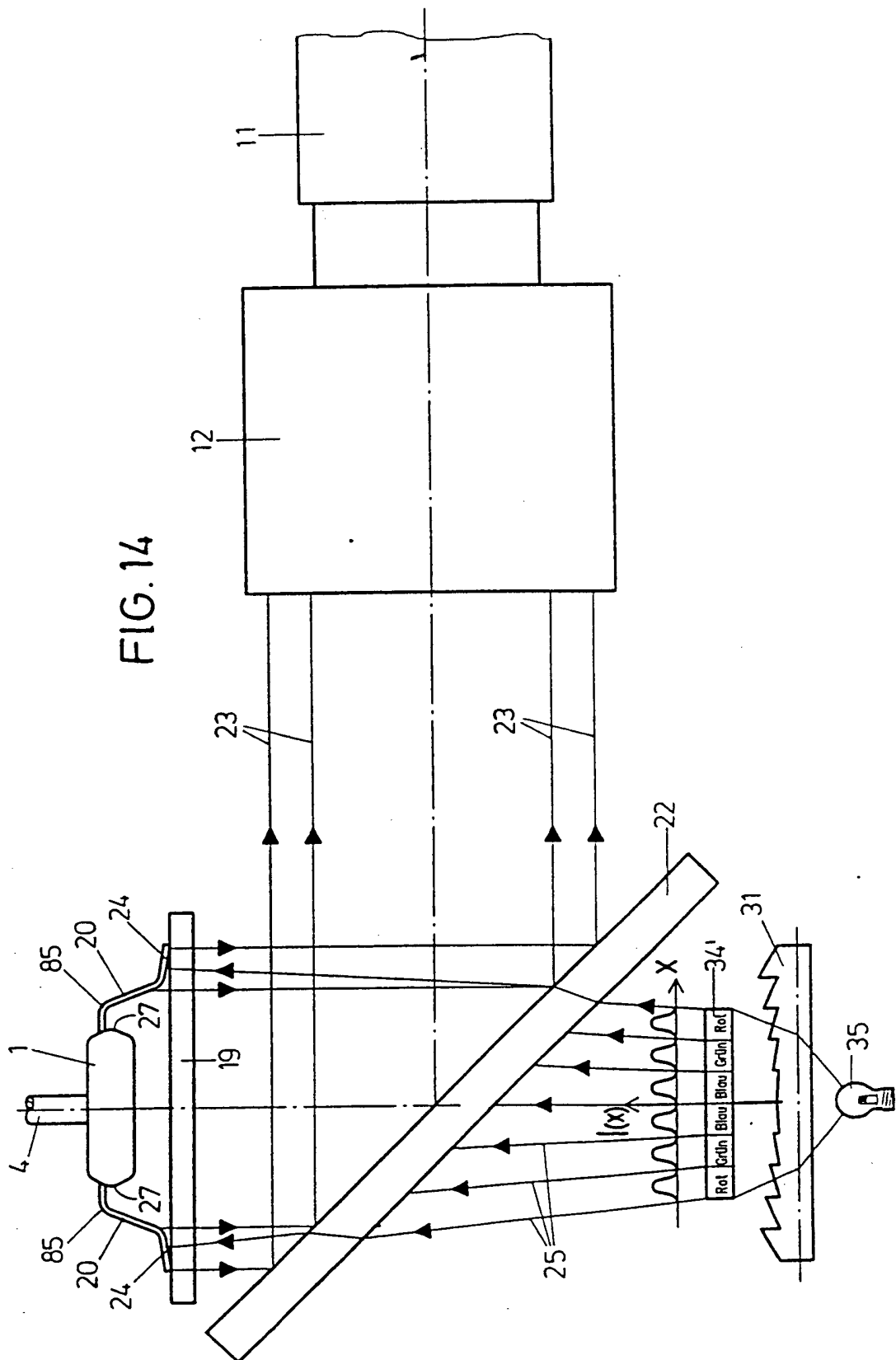


FIG. 14





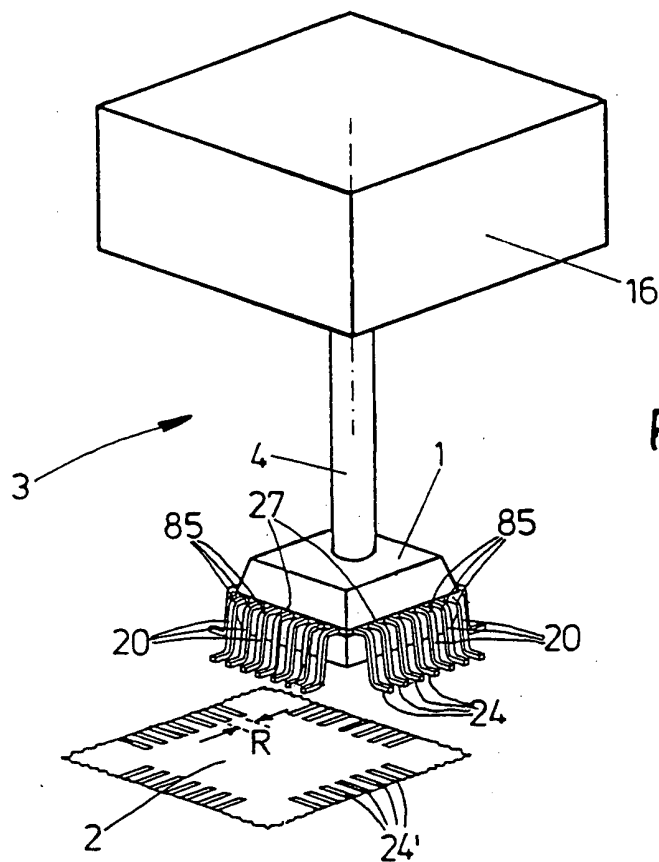
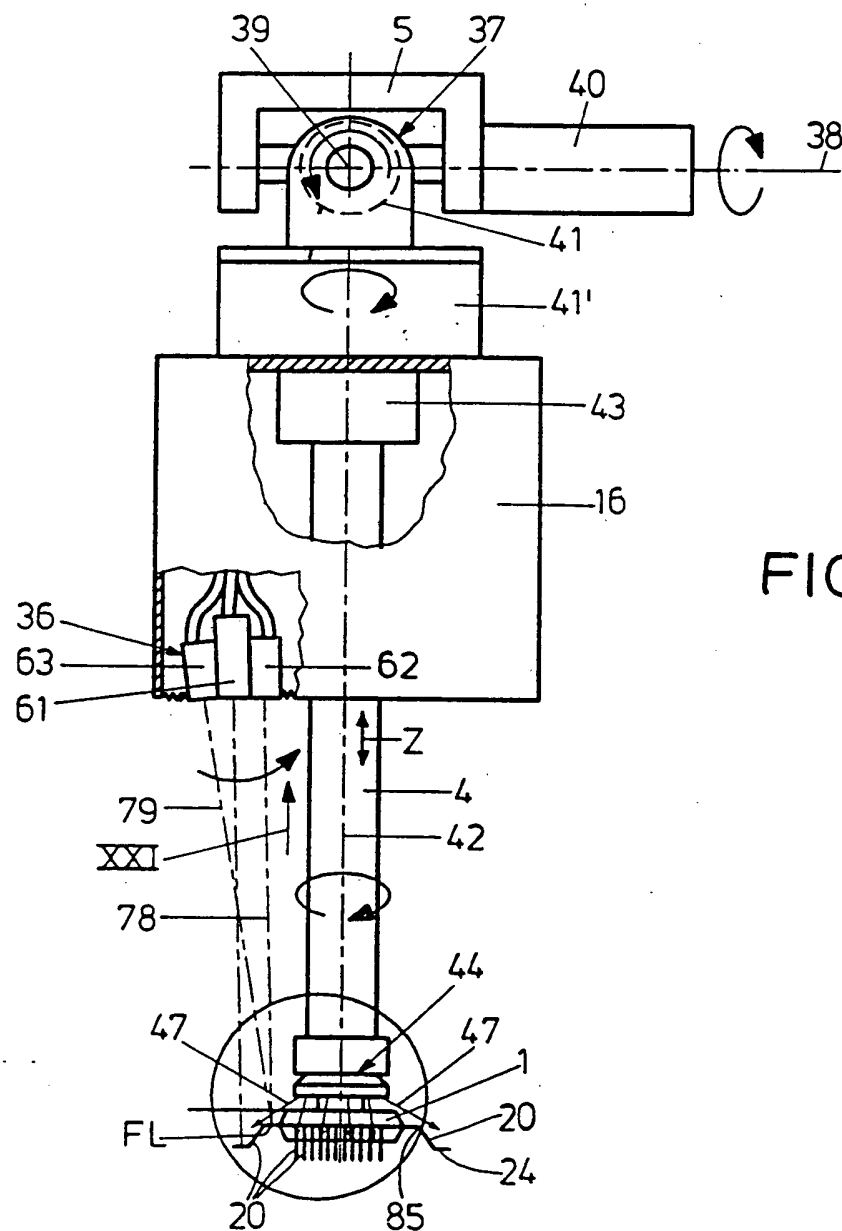


FIG. 15



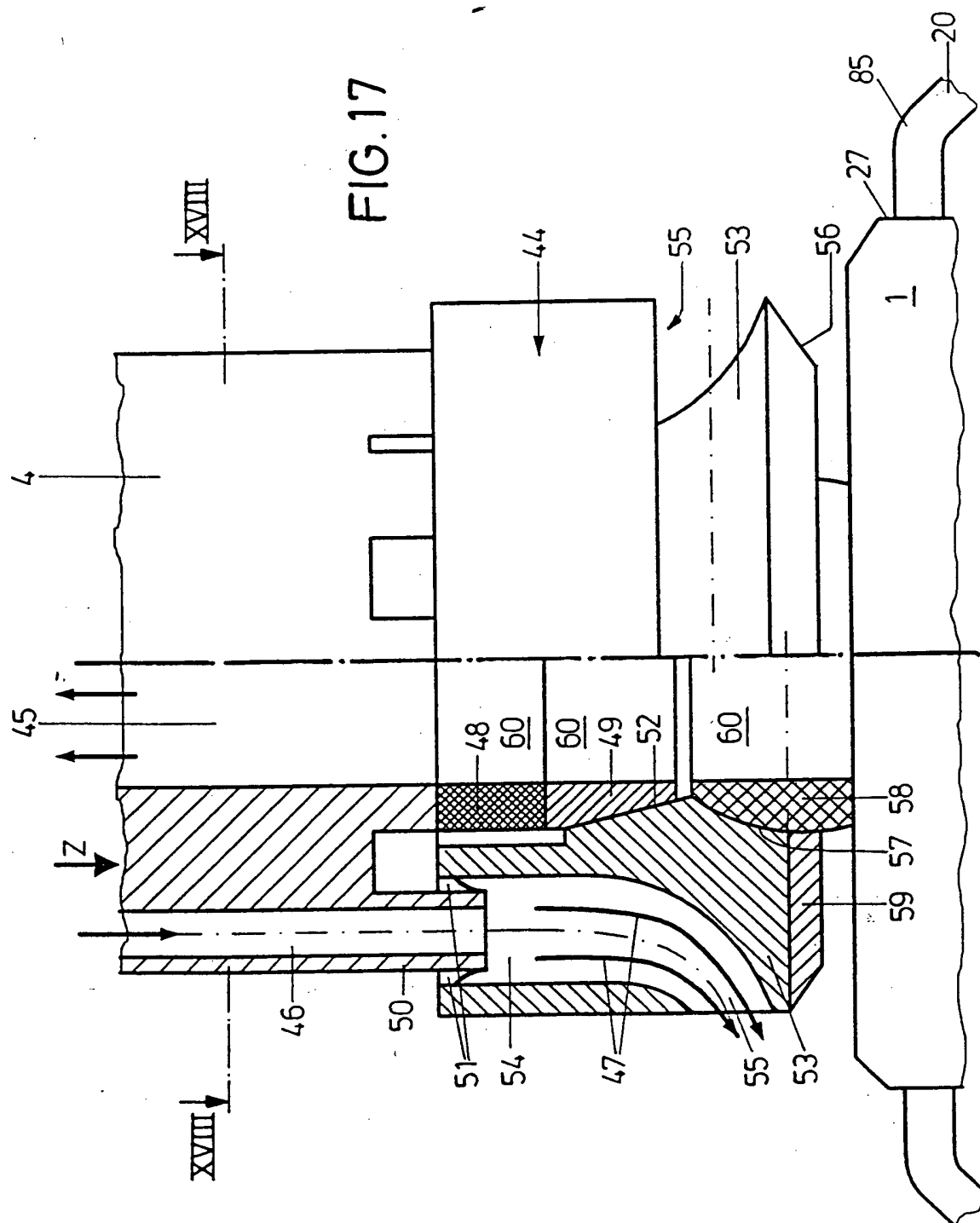


FIG. 18

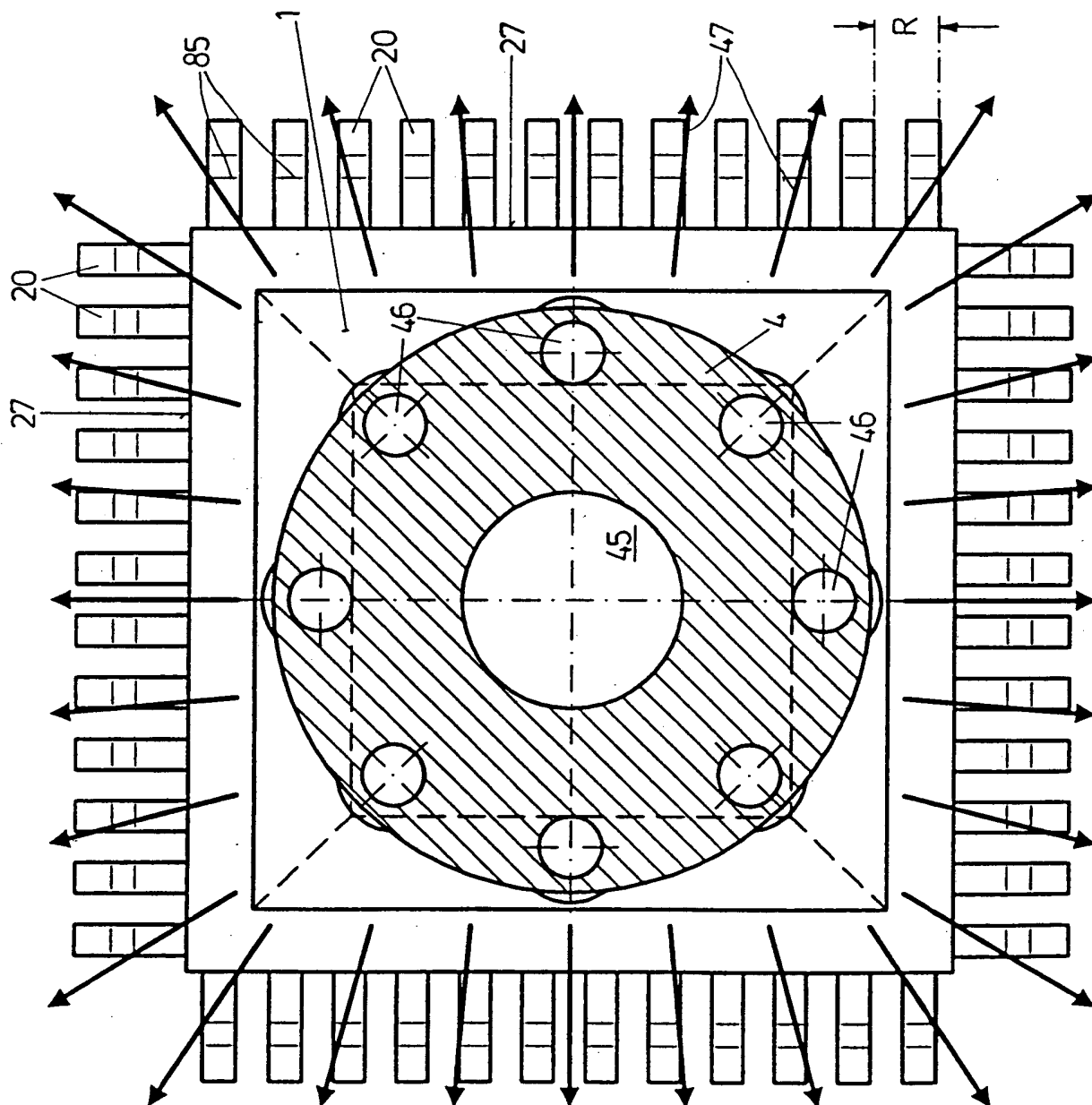


FIG. 19

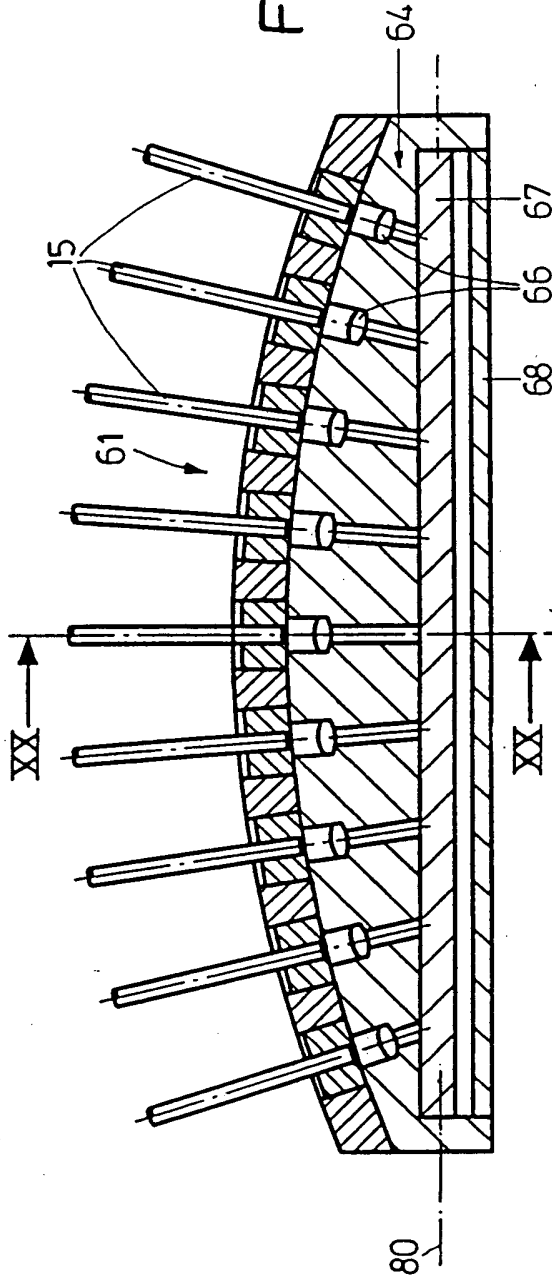
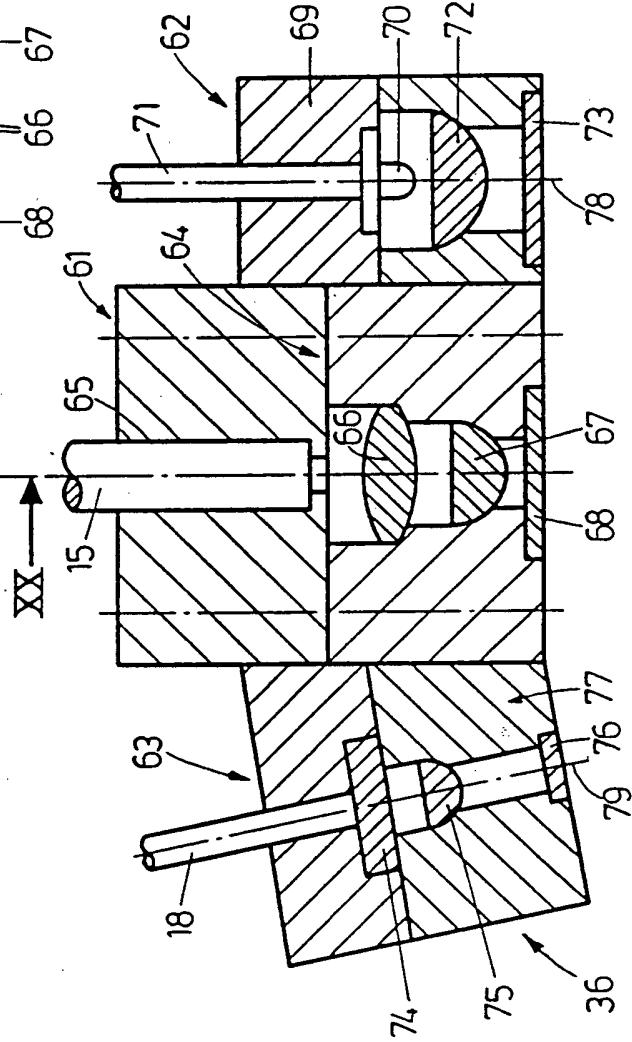


FIG. 20



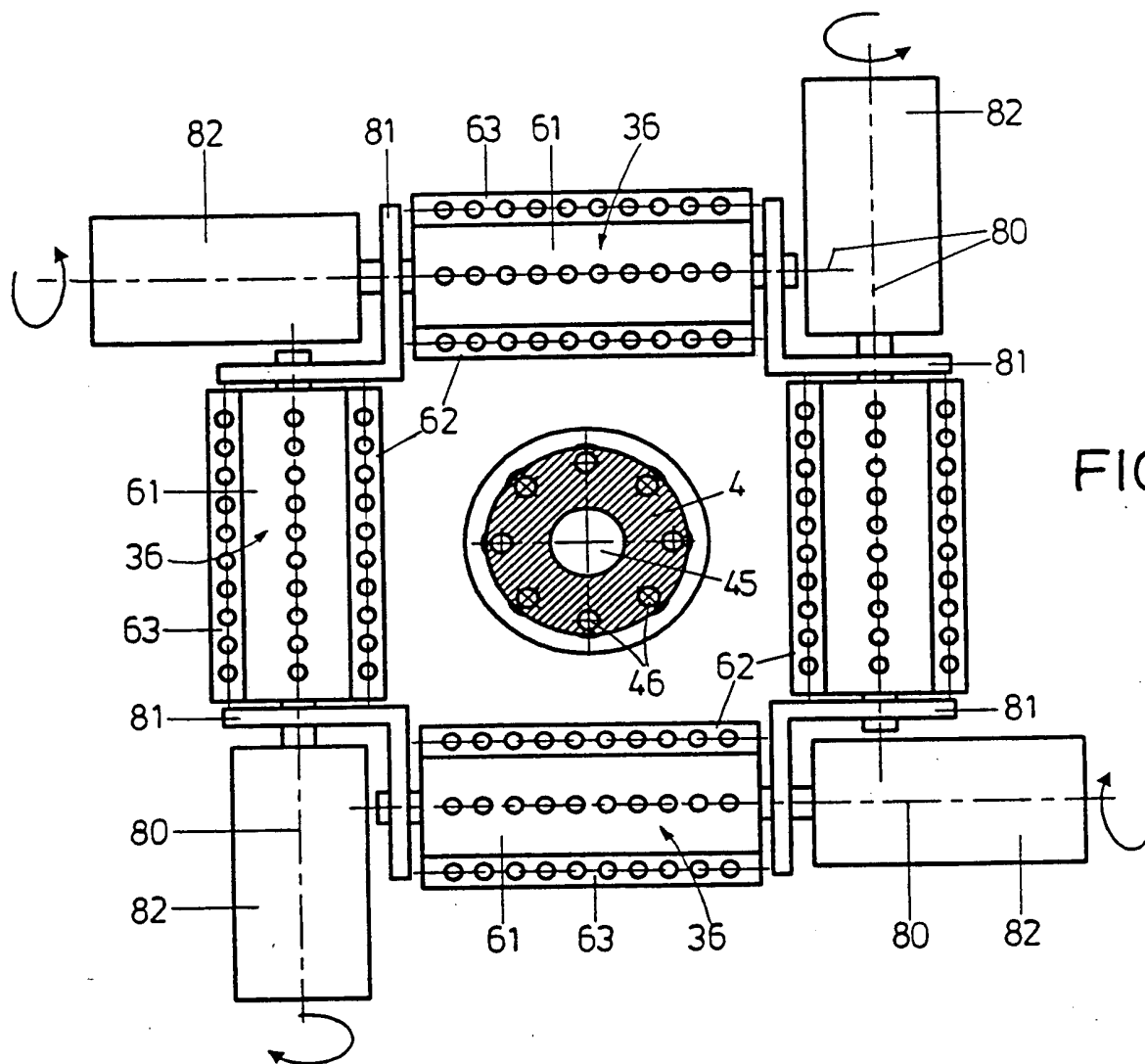




FIG. 22

